Últimas publicaciones de la Fundación Iberdrola

Colección Clásicos de la ciencia y tecnología

- El canon científico. *José Manuel Sánchez Ron.*
- Introducción al estudio de la medicina experimental. *Claude Bernard.*
- Exposición del sistema del mundo. *Pierre-Simon Laplace.*
- Fundamentos para una teoría general de conjuntos. *Georg Cantor.*
- Recuerdos de mi vida. *Santiago Ramón y Cajal.*

Colección Conferencias y seminarios

- Agua y desarrollo sostenible: vida, medioambiente y sociedad.
- Ciencia, tecnología y educación.

Colección Ensayo

- Europa: ¿Comunidad de valores u ordenamiento jurídico?/El carácter relacional de los valores cívicos. *R. Spaemann y A. Llano.*
- Empresa y sociedad civil. *Varios autores.*
- Modelos de Sociedad Civil/Models of Civil Society. *F. Russell Hittinger.*

Colección Estudios

- Desarrollo tecnológico e investigación científica en España. *Balance provisional de un esfuerzo insuficiente de catching up. V. Pérez-Díaz y J. C. Rodríguez.*

Colección Cuadernos del Foro de Pensamiento Actual

- Principios físicos del desarrollo energético sostenible.
- Principios del desarrollo económico sostenible.

Colección Gigantes

- Gutenberg.
- Las luces de la Energía.
- Genios de la Ingeniería Eléctrica.
- Arquitectos de la Materia

Colección Clásicos del Pensamiento Europeo

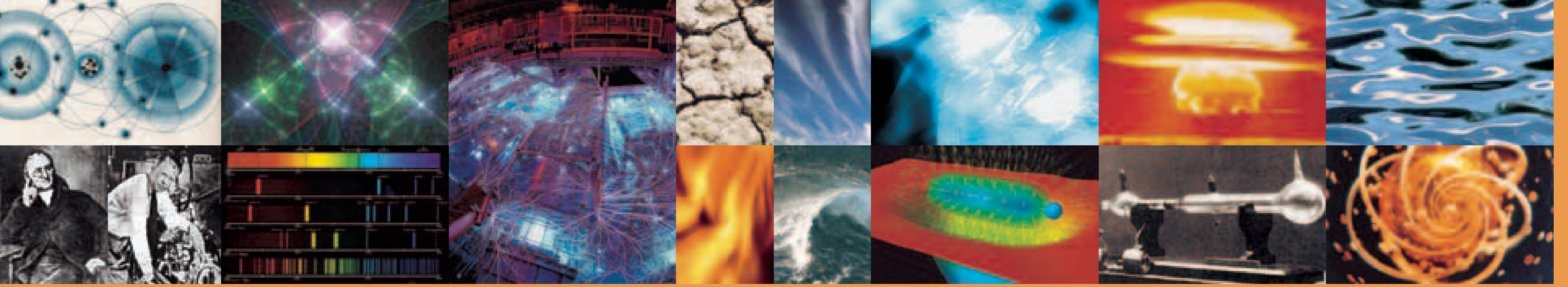
- Sobre la libertad. *John Stuart Mill*
- Meditación de Europa y otros escritos afines. *José Ortega y Gasset*
- La democracia en América I y II. *Alexis de Tocqueville*

Otras Publicaciones

- La Energía en sus claves



Fundación
IBERDROLA
Serrano 26, 1.ª planta
28001 Madrid
www.fundacioniberdrola.org





COLECCIÓN GIGANTES

La Colección Gigantes presenta a sus lectores, de forma sencilla, concisa, rigurosa y fácil de leer y entender, cúales han sido los personajes clave que, a lo largo de la historia de la humanidad, más han contribuido a desarrollar la ciencia, la tecnología, el pensamiento, etc. —el conocimiento científico, tecnológico y humanista, en general— y cómo de sus contribuciones y esfuerzo personal nos beneficiamos hoy en día las personas que poblamos el planeta Tierra.



ISBN 84-609-9775-8
9 788460 997757

Fundación
IBERDROLA
Serrano 26, 1.ª planta . 28001 Madrid
www.fundacioniberdrola.org

Arquitectos de la Materia
JAUME NAVARRO
IBERDROLA

Arquitectos de la Materia

JAUME NAVARRO





JAUME NAVARRO

(Barcelona, 1970) es licenciado en Ciencias Físicas y en Filosofía, y doctor en Historia de la Ciencia. Ha sido profesor de Historia y Filosofía de la Ciencia en la Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona, y en el Imperial College, Londres. Actualmente es investigador asociado en el Department for the History and Philosophy of Science (HPS) de la Universidad de Cambridge, y miembro del Centre d'Estudis d'Història de la Ciencia (CEHIC) de la Universidad Autónoma de Barcelona. Ha trabajado extensamente en la Historia de la Física, especialmente en los siglos XIX y XX, publicando artículos en revistas internacionales, y es autor del libro *"En Contacto con la Realidad. El realismo crítico en la filosofía de Karl Popper".*

Arquitectos de la Materia

Personajes que construyeron el mundo de los átomos

COLECCIÓN GIGANTES

Arquitectos de la Materia

Personajes que construyeron el mundo de los átomos

Jaume Navarro

Fundación Iberdrola

•

2006

•

Colección Gigantes
Arquitectos de la Materia

C/ Serrano, 26 - 1.ª 28001 Madrid

Director de la Colección: **José Luis de la Fuente O´Connor**
Editora: Marina Conde Morala

ISBN: 84-611-1024-2
Depósito legal: M. 24.163-2006

Diseño, preimpresión e impresión:
Gráficas Arias Montano, S. A.
28935 Móstoles (Madrid)

Impreso en España - Printed in Spain



A mi padre. Le habría gustado poder leer este libro.

Índice

Introducción

Una *biografía* de la Materia

¿Quién descubrió los átomos? La pregunta parece inofensiva, pero no lo es. La palabra *descubrir* podría llevarnos a pensar que la actividad científica consiste principalmente en quitar el velo de lo que está cubierto, escondido. Tomando una imagen de laboratorio, podríamos imaginar que los científicos han ido mejorando sus microscopios hasta llegar a ver la estructura última de la Materia. Sin embargo, la historia de la ciencia nos muestra otra cosa: pensar en los científicos como personas que observan y explican lo que ven es una ingenuidad que no se corresponde con la realidad. La actividad científica es mucho más compleja.

El mundo material siempre ha sido un misterio para el ser humano. Desde los orígenes de la humanidad ha habido constantes intentos por entender y por dominar la Materia. El movimiento de los astros, los ciclos de la vida y la estabilidad del cosmos parecen indicar que el mundo sigue unos patrones fijados de antemano. Pero este carácter permanente del mundo a veces colapsa: un terremoto, una enfermedad o la aparición de un cometa son fenómenos que sorprenden y que asustan porque no son predecibles, porque no los podemos dominar. Y porque nos hacen preguntar: el mundo ¿es siempre igual o está cambiando?

Éste es un libro de biografías. En él se presenta la actividad de filósofos y científicos de todas las épocas que se han interesado por entender mejor qué es la Materia y cómo está organizada. Por eso me gusta presentarlo como una *biografía de la Materia.* En toda biografía hay un elemento estable —la persona de la que se trate— y muchos elementos variables —los diversos episodios de esa vida. Así sucede con la Materia.

La historia de nuestra comprensión de la Materia es biográfica en dos sentidos. Primero porque la tarea de filósofos y científicos ha consistido en intentar entender qué hay de estable en un mundo cambiante. Como veremos en los primeros capítulos, la tensión entre cambio y estabilidad fue uno de los problemas centrales que inauguraron la *filosofía natural.* El mundo cambiaba, pero algunos de estos cambios seguían patrones fijos mientras otros parecían totalmente aleatorios. Si conseguíamos entender estos últimos como resultado de una estructura más profunda, desaparecía el azar y, con él, el miedo a lo desconocido. Los átomos o los elementos primitivos eran teorías que proporcionaban esa estructura profunda estable.

También es biográfica en un segundo sentido. La historia de nuestra comprensión de la Materia es una historia de cambios constantes —las teorías han ido cambiando— bajo una pregunta permanente —qué hay de estable en el mundo—. Veremos algunas de estas teorías y las situaremos en su contexto histórico y social para entender de dónde surgen y cómo se forman. Evitaremos, así, utilizar en ningún momento la palabra *descubrimiento,* ya que las teorías que se presentan son casi siempre fruto de la imaginación, de la intuición y del diseño.

Como en el caso de los arquitectos, los filósofos y científicos de los que hablaremos han propuesto modelos, diseñado estructuras, imaginado átomos. A veces, esos sueños se han hundido enseguida, como si de chabolas sobre arenas movedizas se tratara; otras veces, los edificios que se han construido han durado siglos. Pero ninguna teoría de la Materia es eterna. Como en arquitectura, el hundimiento parcial de una teoría puede servir como punto de partida de la siguiente. Incluso cuando se restaura una teoría antigua se introducen modificaciones, como en la recuperación de edificios.

Y siguiendo el símil arquitectónico, los modelos que se proponen nunca son del todo independientes de su entorno. El arquitecto necesita tener en cuenta el lugar sobre el que proyecta su edificio, las modas culturales, los gustos locales y la crítica de los otros arquitectos. De modo parecido sucede en la filosofía natural y en la ciencia. Las diversas teorías de la Materia nacen en un determinado entorno cultural y social y son, muchas veces, reflejo de ese entorno. La ciencia no es una actividad aislada, sino que se encuentra sumergida y forma parte de esa gran red que llamamos cultura.

Hablando de culturas, cabe señalar que la evolución de nuestra comprensión de la Materia se ha desarrollado principalmente en dos culturas:

la filosofía y la alquimia. Los filósofos pretendían entender el mundo partiendo de la contemplación, de la observación, de la especulación intelectual y de la discusión racional. Los alquimistas querían dominar los secretos de la Materia y sacarle el máximo partido partiendo de conocimientos empíricos, prácticos; conocimientos que se transmiten en pequeños talleres, como cualquier saber artesanal.

Filósofos y alquimistas. Y en esta historia, ¿dónde están los científicos? En sentido estricto los científicos aparecen después de 1830. Antes de esta fecha la palabra *científico* no existía. La tradición filosófica había ido evolucionando sin que apareciera una distinción entre ciencia y filosofía. La dramática separación actual entre ciencias y humanidades todavía no se había consumado. El hombre antiguo, medieval, renacentista e ilustrado era un hombre culto, no un especialista. Todo le interesaba porque todo estaba relacionado. Sólo después, con la especialización y la explosión del número de científicos, desaparecieron las grandes preguntas sobre Dios, sobre el mundo y sobre el hombre.

Hoy creemos dominar bastante bien la Materia. En los laboratorios más avanzados se *ven* los átomos, se los manipula, se los altera, se los destruye. Y, a la vez, parece que cuanto más los utilizamos menos los comprendemos. Se necesitan largos años de formación universitaria, ordenadores y simuladores de tecnología punta para empezar a pensar en los átomos. Sólo se puede trabajar con las partículas más elementales en unos pocos laboratorios de dimensiones colosales, fruto de la colaboración internacional. Cada experimento involucra a cientos e incluso miles de personas.

¿Quién descubrió los átomos? Seguramente la respuesta más acertada es que nadie los descubrió. Se han ido construyendo poco a poco con la ayuda de grandes arquitectos, algunos de los cuales son los protagonistas de los siguientes capítulos.

BIBLIOGRAFÍA

BARNES, B. Y EDGE, D. (eds.): *Science in Context,* The Open University Press, Milton Keynes, 1982.

GILLISPIE, C. C.: *Dictionary of Scientific Biography,* Scribner, 18 vols., New York, 1970-1982.

Golinski, J.: *Making Natural Knowledge: Constructivism and the History of Science,* Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
Toulmin, S.: *The Architecture of Matter,* Hutchinson, London, 1962.



Empédocles de Acragas
Los elementos del mundo clásico

Nuestra historia comienza hace unos dos mil quinientos años, en la isla de Sicilia. En la costa sur de la isla, en el pueblo que hoy se llama Agrigento, entonces Acragas, nació Empédocles. Escribir una biografía suya, como de cualquier personaje de la antigüedad, no es tarea fácil. Se conservan algunos fragmentos de sus obras y anécdotas dispersas de su vida, muchas de ellas probablemente falsas. Con ello, casi sería mejor empezar el libro hablando de alguien más conocido. De todas formas es imposible entender la *biografía de la Materia* sin hacer referencia a la influencia de Empédocles en el pensamiento occidental durante casi dos mil años.

El sur de Italia y la isla de Sicilia se habían convertido, a finales del siglo VI a. C., en un gran foco de cultura helénica. En Elea, ciudad costera al sur de la actual Nápoles, Parménides (540-470 a.C.) y su discípulo Zenón (489?-430 a.C.) eran los impulsores de un nuevo modo de entender el mundo. Antes que ellos, la escuela pitagórica también se había establecido en la zona, después de que su fundador, Pitágoras (582-496 a.C.), tuviera que abandonar, por motivos políticos, su ciudad natal en la isla griega de Samos.

No. No nos remontaremos al primero de los filósofos, Tales de Mileto (635-545? a.C.), en esta historia. Bastará con encadenar el pensamiento de la escuela de Pitágoras y la escuela de Elea para entender el pensamiento de Empédocles. ¿Cuál era el problema que estos filósofos afrontaban? Se trata de una pregunta que está en la base de la investigación científica y de la especulación filosófica: ¿cómo es realmente el mundo?,

¿cuán estable es el mundo?, ¿qué hay tras ese constante cambio y diversidad que observo en la naturaleza?

En una excursión al monte vemos árboles, hierbas, pájaros, insectos… Están ahí. Los puedo observar, escuchar, tocar. Cada árbol es distinto a los demás. Cada uno de ellos es único. Es más, si repito mi excursión mañana, seguramente observaré cambios en cada una de las plantas y animales. Un árbol habrá perdido una de sus ramas; aquella planta habrá dado lugar a una nueva flor. El número de insectos habrá variado, muchos de ellos devorados por los pájaros, quienes, a su vez, habrán perdido alguna de sus plumas. En mi nueva excursión observaré, pues, un mundo totalmente distinto. Y, sin embargo, si alguien me pregunta dónde he ido y qué he visto, diré: he ido al mismo lugar y he visto las mismas cosas. ¿Qué es lo que me hace afirmar unidad y estabilidad si lo que veo, siento y oigo es ahora distinto?

La gran pregunta acerca de la unidad bajo la apariencia de diversidad ha marcado el pensamiento occidental desde los tiempos de la cultura helénica. Incluso las ciencias actuales mantienen esa misma pregunta: se buscan los últimos componentes de la Materia, es decir, aquellas piezas o aquellos elementos que son comunes a todos los cuerpos; se formulan leyes que nos expliquen por qué hay una cierta estabilidad en la naturaleza. A pesar de las apariencias más inmediatas, el mundo se nos antoja estable, racional, y los filósofos y científicos apuestan por teorías para intentar captar esa racionalidad.

Pitágoras y los pitagóricos intuyeron que bajo la apariencia de cambio constante se escondía una eterna armonía matemática. Los animales, las plantas y, sobre todo, los astros del firmamento parecían obedecer unos ritmos de proporciones matemáticas. Esto era importante, ya que los números no son cambiantes: 2 + 2 siempre es 4, hoy o mañana, aquí o en las antípodas. De este modo, las matemáticas se convierten en el arquetipo de lo que existe en el mundo. La realidad cambia, pero el cambio sigue unas pautas numéricas y los números no cambian. De ahí que se pueda afirmar, siguiendo el razonamiento pitagórico, que, en el fondo, la realidad no es cambiante.

Pitágoras y sus discípulos vieron en el número, en las matemáticas, el origen, fundamento y fin de todas las cosas. Todas las cosas habían sido puestas en marcha siguiendo patrones matemáticos, y seguían existiendo

guiadas por el mismo patrón. El hombre, sujeto al cambio como el resto de las cosas, podía purificar su imperfección. Las matemáticas eran también el camino del alma humana en su búsqueda de la perfección. Aquí encontramos una mezcla de espiritualismo y ciencia, de ascética y conocimiento, propia del mundo clásico. La comprensión de la naturaleza y la perfección del alma constituían un mismo proyecto; ser sabio y ser bueno se identificaban entre sí. Religión y ciencia se confundían.

Siguiendo en la estela de la tradición pitagórica, Parménides fundó su propia escuela en Elea. En este proceso de purificación a través del conocimiento, los eleatas llegaron al total desprecio del conocimiento sensible. La vista, el gusto, el tacto, el oído y el olfato eran, para ellos, fuente de constantes errores acerca del mundo. Por eso decidieron hacer caso omiso de las apariencias sensibles y hacer uso sólo del pensamiento para entender la razón de ser más última de la naturaleza.

Hay un ejemplo, usado por Parménides, que ayuda a entender su postura. Cada noche la luna aparece distinta. La vista nos dice, noche tras noche, que la luna va creciendo hasta tomar la forma de un gran disco, tras lo cual, y en un proceso similar, la luna va menguando hasta desaparecer totalmente. A pesar de ello, y tras estudios nada evidentes, sabemos que la luna no cambia. Los ojos nos dicen que sí, pero la razón nos informa del porqué de tal aparente cambio. El sol, proyectando su luz sobre la luna, es el responsable de las distintas fases por las que ésta pasa. Tras el aparente y constante cambio de la luna se esconde una total y absoluta estabilidad: la luna es siempre la misma aunque la veamos distinta.

Así, Parménides intuye que todas las cosas, en el fondo, son lo mismo. Bajo la apariencia de cambio y diversidad, lo único que tenemos es el Ser, estable, inmutable, eterno y permanente. Sin partes y sin límites, el Ser o lo Uno es todo lo que hay. Parménides, como tantos de sus contemporáneos, escribió en verso sus teorías, un estilo alejado de lo que hoy consideraríamos el buen hacer científico. Sin embargo, esta forma de escribir pone de manifiesto el carácter relativamente místico del conocimiento científico. De hecho, si la filosofía —la ciencia— trataba de entender lo profundo, lo escondido, lo oculto bajo las apariencias, no es extraño que tales teorías se transmitan rodeadas de un cierto hermetismo.

Acerca del Ser, Parménides escribió que:

lo ente ingénito e imperecedero es,
porque es único, imperturbable y sin fin.
No era alguna vez, ni será, pues ahora es, todo a la vez.
uno solo, compacto. Pues ¿qué nacimiento le buscarás,
cómo, de dónde ha crecido?

En cuanto al tema que nos ocupará en este libro, el de la estructura de la Materia, Parménides afirma que el Ser no tiene partes, no es divisible:

Ni tampoco es divisible, porque es entero igual.
Ni es algo más por aquí, que le impediría ser compacto,
ni menos, pues está enteramente pleno de lo ente.

Los contemporáneos de Parménides no aceptaron este monismo tan radical. No era de *sentido común* afirmar que el mundo era una especie de unidad indefinida, sin partes, sin límites. La historia de la ciencia está llena de episodios en los que el *sentido común* ha sido el arma arrojadiza contra propuestas científicas novedosas. En ciencia, el *sentido común* es paralizante, ya que éste está demasiado cerca de los fenómenos, de la evidencia sensible y de la tradición. Para hacer ciencia, hace falta poder dar un paso atrás, criticar la coherencia de la visión aceptada, ver el mundo con suspicacia e interrogarlo con ironía. Esto es lo que hizo Parménides y, aunque hoy algunos se sonríen de su negación del vacío y de la divisibilidad del mundo, su monismo fue un paso adelante en la búsqueda de la estabilidad del mundo material.

El discípulo de Parménides más conocido es Zenón de Elea, a quien podemos imaginar como el publicista de Parménides, decidido a mostrar al mundo la veracidad de las enseñanzas de su maestro. Famosas son algunas de las aporías de Zenón, especialmente la de Aquiles y la tortuga, o la del aquero y la flecha, con las que pretende demostrar que el movimiento no existe, a pesar de lo que nos diga la experiencia inmediata. Aquí nos centraremos en el argumento que Zenón utilizó para mostrar que la naturaleza no es divisible.

Frente al monismo de Parménides, algunas voces planteaban que el mundo estaba compuesto de partes. Zenón ridiculizó esta versión de la siguiente manera: si el mundo está compuesto de distintos elementos, cada uno de éstos tendrá unas dimensiones determinadas. Tomemos uno de es-

tos elementos y dividámoslo. Esto es posible, en principio, debido a que el elemento en cuestión tiene dimensiones finitas. Esta sub-parte puede, a su vez, ser dividida, y el resultado es una parte todavía más pequeña pero con dimensiones finitas. Llevando el proceso al extremo, podríamos seguir dividiendo infinitas veces y llegaríamos a tener infinitas partes, cada una de las cuales tendría dimensiones finitas. Pero si ahora juntamos todas estas infinitas partes, necesariamente obtendremos un cuerpo infinitamente grande, lo cual es una contradicción con el punto de partida. Por lo tanto, diría Zenón, el mundo no es divisible.

La paradoja de Zenón nos muestra que la idea de la divisibilidad de la Materia en átomos no es necesariamente evidente. De hecho, y como veremos en este libro, a pesar de que algunos filósofos pretendieron introducir el atomismo, éste no fue aceptado en las ciencias hasta el renacimiento. El atomismo —la idea de que los cuerpos pueden ser divididos en átomos— no es, por tanto, necesariamente de sentido común.

Pero volvamos al protagonista de este capítulo. Empédocles nació en el seno de una familia noble de Sicilia, probablemente en el año 492 a.C. Según la biografía escrita por Diógenes Laercio, su padre poseía una caballería, signo de riqueza en la época, y su abuelo, un poeta reconocido, había tomado parte en la 71º olimpiada de Grecia. Más tarde, el propio Empédocles también sería el centro de atención de las olimpiadas, el gran acontecimiento social del mundo helénico.

En la acrópolis de la ciudad de Acragas había seis templos dóricos, uno de los cuales era el segundo mayor de todo el mundo helénico. La ciudad estaba en pleno esplendor, especialmente bajo el gobierno del tirano Terón (488-472 a.C.). Cuando Empédocles era todavía un niño, Terón venció a los cartagineses, imponiendo así el dominio helénico en la isla de Sicilia. A su muerte, dada la ineptitud de su hijo, la ciudad decidió convertirse en una democracia. Mientras, en Atenas reinaba Pericles (495-429 a.C.), quien, con una gran dosis de pragmatismo, consiguió una unidad del mundo helénico sin precedentes. En Acragas, Empédocles y su familia estuvieron fuertemente implicados en el paso de la tiranía a la democracia. Además, Empédocles consiguió convencer a sus conciudadanos de la necesidad de abandonar las luchas partidistas, que minaban el desarrollo de la ciudad y, en cambio, cultivar el desarrollo cultural. Tal era su poder de convicción, que Aristóteles (384-322 a.C.) le consideró el padre de la retórica.

Su defensa de la igualdad parece estar en contradicción con su estilo personal. Se le recuerda paseándose por la ciudad con expresión seria, distante, con aire de superioridad y vistiendo con extravagancia: una túnica de púrpura ceñida con cíngulo dorado, una larga y exuberante cabellera, y sandalias vistosas. Paseaba por la ciudad rodeado de niños y jóvenes que le servían en todo lo que necesitara. Su lenguaje era, según decían, excesivamente florido. Pero estas palabras tenían también, según la leyenda, poder curativo. Empédocles es considerado, por algunos, uno de los fundadores de la escuela médica de Sicilia. Hay que resaltar que, en esta época, la medicina era uno de tantos saberes y, por lo tanto, estaba íntimamente ligado con la sabiduría, con la filosofía y con la religión.

Mientras unos lo consideran un médico de considerable valía, otros ven en él sólo a un charlatán. Entre los relatos de sus curaciones aparecen la resurrección de alguno de sus pacientes, la curación del envejecimiento y el control de lluvias y vientos con su palabra. Más creíble es, sin embargo, la eliminación de una plaga en la ciudad debida a la contaminación del río. Empédocles mandó desviar unos afluentes para que purificaran el agua del río y, con ello, eliminar la plaga. Esto muestra a un personaje para el cual la contemplación y el saber más especulativo no iban reñidos con las aplicaciones más técnicas y prácticas.

Pero, con el tiempo, su dedicación a la política le valió muchos enemigos, y tuvo que abandonar la ciudad. En su exilio por el sur de Italia, Empédocles entró en contacto más directamente con las escuelas pitagórica y eleática, y fue probablemente en este tiempo cuando desarrolló su visión del mundo. Han llegado hasta nuestros días dos poemas de Empédocles, uno de los cuales se refiere a la Naturaleza y el otro a la purificación del alma. El primero es interesante porque introduce una visión del mundo que intenta aunar el monismo de Parménides con la pluralidad que nos muestran los sentidos.

Si el Ser es sólo uno, no hay manera de explicar el movimiento que se observa en la naturaleza. De ahí que Empédocles propuso cuatro elementos básicos de la naturaleza: agua, aire, tierra y fuego, la mezcla de los cuales daría lugar a la diversidad de cosas que encontramos. El cambio y la pluralidad se explicarían a partir de la combinación y recombinación de estos cuatro elementos. Además, para explicar cómo estos cuatro elementos se organizan, Empédocles también introdujo dos fuerzas, el amor y el

odio, que explicarían por qué los cuatro elementos aparecen en proporciones distintas en los diversos cuerpos.

La cosmología de Empédocles mantiene el carácter estable de la naturaleza, a la vez que explica el cambio y la pluralidad. No hay corrupción ni generación: lo único que encontramos es organización de los cuatro principios en proporciones distintas (dando lugar a la pluralidad) y variación en la proporción de los elementos (explicando así el cambio). Por efecto del amor se reúnen los cuatro elementos, y por efecto del odio se separan las partículas provocando la extinción de los objetos. El mundo tal como nosotros lo conocemos está a mitad de camino entre la realidad primitiva, fase en la que predomina el amor, y la fase de total separación de los elementos, en la que predomina el odio.

Imaginar los cuatro elementos de Empédocles no es fácil desde nuestra perspectiva. No se trata tanto de *partículas* de tierra, aire, agua o fuego, sino que hay que pensarlos como principios activos, como propiedades distintas. De ahí que Empédocles atribuya nombres de dioses a los cuatro elementos. Dioses, porque ejemplifican mejor la idea de que se trata de principios y no de componentes; no porque se les deba atribuir carácter religioso o sobrenatural. Zeus aparece como el fuego; Edoneo, la tierra; Hera, el aire; y Nestis, el agua. Los cuatro elementos también reciben el nombre de *raíces,* para subrayar el carácter de fundamento invisible de la naturaleza. Nuestros sentidos nos muestran cosas concretas, nunca ninguno de los cuatro elementos que las componen. Los elementos, al mezclarse, permanecen como ocultos a los sentidos.

Los cuatro elementos llenan, por así decir, todo el mundo. No existe el vacío entre ellos. Se suele atribuir a Empédocles el descubrimiento de que el aire es una sustancia Material y de que, como consecuencia, no existe el vacío. El experimento que llevó a cabo para demostrarlo es muy simple. Una vasija llena de aire y sumergida en agua no permite la entrada del agua si no es expulsando el aire fuera. Si el aire no fuera material, no habría inconveniente en que la vasija se llenara de agua.

Al introducir los cuatro elementos y las dos fuerzas, Empédocles cambió el universo de Parménides, fijo, estático, gélido, por un cosmos con dinamismo interior. Este dinamismo queda representado con su ciclo cósmico que pretende ser una explicación de la evolución constante de la naturaleza. Este ciclo constaba de cuatro estadios: uno dominado por el

amor, otro por el odio, y dos estadios de transición, de un dominio a otro y viceversa. En el estadio del dominio del Amor, se daría una mezcla uniforme de los cuatro elementos, dando lugar a algo parecido al Ser de Parménides, que es eterno, finito, inmóvil, y no existe, en él, el vacío. Por ello, Empédocles dice que bajo el dominio del amor todo es, en el fondo, una única realidad, una única cosa, ya que el Universo, en esos momentos, no es ni fuego, ni agua, ni tierra, ni aire.

Con la aparición del odio el todo se empezaría a separar y se pondrían en movimiento los cuatro elementos, tendiendo, cada uno de ellos, a replegarse sobre sí. En este estadio el fuego, el aire, el agua y la tierra aparecen totalmente separados entre sí, a la espera de volver a ser reunidos por la fuerza del amor. De hecho, el mundo actual aparece muy dominado por el odio, ya que los cuatro elementos aparecen con frecuencia claramente diferenciados: el agua de los mares y los ríos está muy separado de la tierra firme. El aire y la tierra parecen pertenecer a esferas distintas, mientras que el fuego se concentra fundamentalmente en el sol.

¿Cómo demostró Empédocles que los elementos eran cuatro y que eran precisamente los cuatro que él dijo? No lo demostró: sólo fue una sugerencia. Pero esta sugerencia se fue imponiendo hasta que Aristóteles, cien años más tarde, aceptó esa cosmología como válida. Con él, toda la filosofía y ciencia posterior aceptó la existencia de los cuatro principios básicos, tierra, aire, agua y fuego, como de *sentido común,* como conocimiento tradicional y establecido.

La muerte de Empédocles está llena de misterio. La última noticia fidedigna que se guarda es que se trasladó al Peloponeso, donde, posiblemente, moriría. Sin embargo, el mito más conocido acerca de su muerte es que, tras la solución al problema de las aguas contaminadas en Acragas, los habitantes de la ciudad lo empezaron a adorar como dios. Empédocles, queriendo mostrar su origen divino, se arrojó al fuego. Lejos de ser un dios, en vez de confirmar la teoría popular de su origen divino, Empédocles puso fin a las habladurías del pueblo y a su vida. En otra narración similar, Empédocles convoca una fiesta para celebrar que había conseguido resucitar a una mujer. Tras la fiesta, y para mostrar su origen divino, Empédocles se dirigió al Etna y se arrojó al fuego del volcán para, así, convertirse en un dios.

Bibliografía

Barnes, J.: *The Presocratic Philosophers,* vols. 1 & 2, Routledge & Hegan Paul, London, 1979.

Diogenes Laertius: *The Lives and Opinions of Eminent Philosophers,* vol. 2, Heinemann, London, 1972.

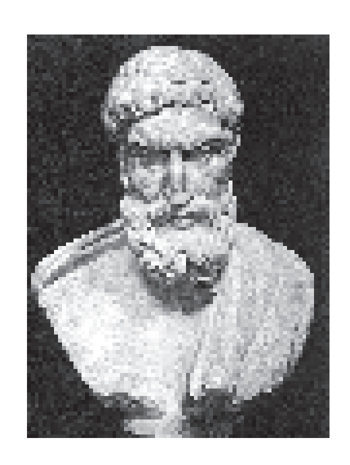
Guthrie, W. K. C.: *A History of Greek Philosophy,* vol. 2, Cambridge University Press, Cambridge, 1965.

Inwood, B.: *The Poem of Empedocles,* University of Toronto Press, Toronto, 1992.

Kingsley, P.: *Ancient Philosophy, Mystery, and Magic. Empedocles and Pythagorean Tradition,* Clarendon Press, Oxford, 1995.

Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M.: *The Presocratic Philosophers,* Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Long, A. A. (ed.): *The Cambridge Companion to Early Greek Philosophy,* Cambridge University Press, Cambridge, 1999.



EPICURO
EL PLACER DE LOS ÁTOMOS

ATENAS, AÑO 323 A.C. Llega a la ciudad la terrible noticia de la muerte del gran rey Alejandro de Macedonia (356-323 a.C.), emperador del mundo. Bajo su reinado, el poder helénico se ha extendido desde el Nilo hasta el Indo. El que era venerado como hijo de los dioses moriría súbitamente en Babilonia, quizás de malaria, quizás envenenado por sus propios oficiales. Con su muerte, la gloria de Macedonia se puso en jaque. La gran ciudad, Atenas, intentó recuperar la hegemonía política en el mundo helénico, pero los macedonios, más fuertes, aplastaron la revuelta, abolieron el régimen democrático e instalaron una guardia macedonia permanente en la ciudad. El ambiente en Atenas se volvió tenso, hasta el extremo de que Aristóteles, uno de los grandes prohombres de su tiempo, y antaño tutor de Alejandro, decidiría abandonar la ciudad y trasladarse a Cálcide, donde moriría al año siguiente.

La muerte de Alejandro trajo consigo cambios significativos en la mentalidad helénica. Las campañas militares del rey habían propiciado la apertura de nuevas rutas comerciales y, con ello, el auge económico de las ciudades griegas y macedonias. Esto generó un mayor individualismo, agravado por la abolición de la democracia, lo cual mitigó el sentimiento de ciudadanía propio de la vida política helénica. Estar en manos de tiranos propició que los griegos ya no se vieran formando parte de un gran proyecto ciudadano, sino como individuos indefensos sometidos a los vaivenes del azar. Así, sólo valía la pena ocuparse de los asuntos propios, sin importar las relaciones con los demás ni un supuesto proyecto común.

Ésta es la ciudad que conoció Epicuro cuando, a los 18 años, hizo su primer viaje a Atenas. Allí se dirigió para prestar el servicio militar de dos años que los jóvenes debían cumplir para obtener la ciudadanía plena. Los padres de Epicuro, atenienses de origen, se habían trasladado a la isla de Samos cuando ésta fue sometida al poder de Atenas. Sin embargo, un decreto de Alejandro, del año 324, desposeía a los colonos atenienses de todos los derechos sobre los territorios conquistados, y la familia de Epicuro decidió trasladarse a la ciudad de Colofón, en la costa del mar Egeo. Allí pasó Epicuro diez años, al terminar su servicio ciudadano, entre el 321 y el 311 a.C.

Epicuro fue, como tantos filósofos clásicos, autodidacta. No era el estudio de un currículo académico lo que formaba al filósofo, sino el seguimiento de maestros más o menos establecidos y el intercambio de opiniones con gente de la misma edad. El primer grupo de interlocutores de Epicuro fueron sus propios hermanos, Neocles, Queredemo y Aristóbulo, quienes le siguieron a Mitilene primero, Lámpsaco después y, finalmente, en el año 306 a.C., Atenas. En la gran ciudad, Epicuro estableció su propia escuela, el Jardín, en competición con la platónica Academia y el aristotélico Liceo.

La vida en el Jardín es más parecida a la de una secta religiosa que a nuestro concepto de escuela filosófica. Muchos de los discípulos viven en la casa, formando una comunidad de vida que trasciende lo meramente intelectual: se celebran comidas en común y, el día veinte de cada mes, se celebra solemnemente el aniversario del nacimiento de Epicuro. Una de las singularidades del Jardín es que está abierto a todo el mundo. No es necesario conocimiento previo de matemáticas, como sucedía en la Academia de Platón, y, para escándalo de muchos atenienses, las mujeres y los esclavos también eran bienvenidos. El lema a la entrada de la escuela proclamaba que allí reinaba constantemente el placer.

¿Qué placer buscaba Epicuro? Para él la tarea del filósofo no es simplemente especulativa sino que tiene la felicidad propia como finalidad. El filósofo no quiere, principalmente, teorizar sobre el mundo, sino comprenderlo y comprenderse a sí mismo, y así alcanzar la felicidad más plena. En el pensamiento de Platón y su escuela la felicidad también era un objetivo a conseguir. Pero, siguiendo la distinción entre apariencias y realidad propia de la filosofía clásica, y de la cual se ha hablado en el capítulo anterior, en la Academia la felicidad sólo se alcanzaba al abandonar el mun-

do de lo contingente y acceder al mundo de lo único real, al mundo de las Ideas. Para Epicuro la única realidad es la sensible, la inmediata, la observable directamente. Y, por tanto, la única felicidad posible, el único placer al que se puede acceder, es el placer sensible.

La filosofía de Epicuro es, por así decir, una manera de escapar del dolor, de convivir con la incertidumbre, de convertirse en señor del propio destino. Ante la situación de desazón que reinaba en el mundo helénico tras la caída de Alejandro, Epicuro propone la búsqueda individual del placer como único modo de sobrevivir a la hostilidad del mundo. Pero para poder obtener el máximo placer, es necesario saber cómo funciona la naturaleza. Un exceso, que aparentemente puede dar máximo placer, se convierte en fuente de dolor si va contra la salud física o la paz de ánimo. De ahí que el conocimiento del mundo, la ciencia, sea una necesidad para la búsqueda del placer. No como en Platón o en Aristóteles, para quienes el conocimiento era en sí mismo la fuente de máximo placer, sino porque conociendo el funcionamiento de las cosas, podremos hacer uso de ellas para nuestro placer sensible.

Así, el hedonismo se convierte en la causa última de la ciencia. No hay un interés por conocer; sólo se busca dominar. Ésta es la disyuntiva con la que historiadores y filósofos de la ciencia se topan cuando quieren explicar por qué los hombres y mujeres de todos los tiempos han hecho, de un modo u otro, ciencia. Desde una perspectiva idealista, de raíces platónicas, la ciencia es una actividad especulativa. La contemplación de la naturaleza sería la principal motivación para la actividad científica, una actividad que colmaría las ansias de saber. Desde una perspectiva más instrumental y práctica, el único motivo para hacer ciencia es el deseo de dominar la naturaleza, de sacar el máximo rendimiento a las posibilidades que el mundo ofrece, de vencer nuestra batalla por sobrevivir a las fuerzas del cosmos. Epicuro pertenecía a este segundo grupo.

La física de Epicuro es totalmente distinta a la de Empédocles o Aristóteles. Conforme a su escepticismo respecto a lo no observable, Epicuro no podía aceptar la teoría de los cuatro elementos. El mundo real debía coincidir con el mundo observable, y Epicuro consideraba los cuatro elementos como ficciones ocultas, esotéricas, como frutos de la imaginación. Las ideas de Parménides y las paradojas de Zenón no impresionaban a Epicuro, quien aceptaba con gusto la existencia del vacío y la divisibilidad de la Ma-

teria, siguiendo las teorías atomistas de Demócrito (460-370? a C.) y Leucipo (460-370? a.C.).

Contemporáneo de Empédocles, Demócrito fue el principal divulgador de la teoría atómica de Leucipo, personaje del cual no se conoce ningún detalle. El primer atomismo sostenía que la naturaleza era eterna, sin principio ni fin, que el espacio era vacío, y que los cuerpos eran divisibles sólo hasta un cierto límite. Las tesis atomistas entran en clara contradicción con el paradigma de Parménides y de Zenón. Para Demócrito, los cuerpos materiales están formados por la agregación de átomos, pequeñas partículas indivisibles y eternas. La diferencia con los cuatro elementos de Empédocles es fundamental: el fuego, el aire, la tierra y el agua son algo así como propiedades que componen el mundo Material. Los átomos de Demócrito son cosas físicas, con extensión, masa y volumen, aunque demasiado pequeños para ser observados. Los átomos son propiamente «partes» de las cosas.

En el atomismo democríteo, el cambio y el movimiento se entienden como ordenaciones distintas de los átomos. Éstos serían del todo independientes entre sí de no ser por sus atracciones y repulsiones mutuas. Las propiedades de los cuerpos que observamos son también expresión de la organización de los átomos, ya que éstos no se distinguen entre sí más que, quizás, por su forma geométrica. Además, los movimientos de los átomos individuales siguen las leyes de la mecánica de la época, con lo que todo el universo es determinista: todo lo que sucede se debe al seguimiento de leyes eternas de la naturaleza. Por lo tanto, para Demócrito, el universo es como un frío juego mecánico, sin dirección, sin propósito, sin vida, en el que todo está perfectamente predeterminado. Aunque todo está en movimiento, no hay ni punto de partida ni punto de llegada; sólo movimiento.

La hipótesis atomista de Leucipo y Demócrito fue rechazada por muchos filósofos de la época. La crítica de Aristóteles fue, entre todas, la más influyente para la posteridad. Éste tachó de inconcebible la idea de un espacio sin Materia. Además, siguiendo razonamientos parecidos a los de Zenón, Aristóteles rechazó la idea de átomos finitos pero indivisibles: si tenían tamaño, ¿por qué no se podían, al menos en principio, dividir? Pero lo más importante para Aristóteles era que el atomismo, determinista y necesario, no podía explicar la vida y, mucho menos, la libertad humana. Una explicación mecánica de la naturaleza no podía dar razón del

carácter aleatorio del comportamiento animal. La imposibilidad de predecir el comportamiento animal chocaba frontalmente con el determinismo ciego que reinaba en el mundo de Demócrito.

A pesar de la crítica aristotélica, Epicuro resucitó las tesis atomistas y las convirtió en la piedra angular de su visión del mundo. Introdujo algunas modificaciones para intentar responder a las críticas aristotélicas. Contrariamente a lo que Demócrito había sostenido, Epicuro propuso que sólo había un número finito de tipos de átomos. Además, éstos tenían una tendencia natural a caer hacia abajo que, junto con las fuerzas de atracción y repulsión entre ellos, explicaba sus movimientos. Pero además, para huir del determinismo más absoluto, Epicuro introdujo la noción de *parénklisis* o *espontaneidad interna* para explicar la diversidad de fenómenos y la existencia de una cierta indeterminación en el mundo.

Todo es material, porque todo se reduce a átomos. Y si es así, para Epicuro el alma también es un cuerpo material, un agregado de átomos. El alma habita en el cuerpo en plena armonía con éste, haciendo de motor de la carne (tal como Epicuro solía llamar al cuerpo). Los átomos que forman el alma son más sutiles que los del cuerpo, de gran suavidad, lisos, redondeados, se mueven a gran velocidad, y están distribuidos por todo el cuerpo. Pero hay una parte del alma, la más profunda y cuyos átomos son más sutiles que el resto, situada en el pecho: es el *alma del alma.* Ésta es la parte del alma que siente, que piensa, que quiere.

Al ser el alma un agregado de átomos, ésta muere cuando los átomos se disgregan. Y esto sucede a la par que se disgregan los átomos del cuerpo, con la muerte física. Así, Epicuro sostenía que la muerte del alma y la muerte del cuerpo son dos fenómenos que tienen lugar a la vez. No hay vida del alma más allá de la muerte y, con ello, Epicuro fundamenta toda su ética en que el único motor de la vida es la búsqueda del placer de la carne.

El atomismo y la búsqueda del placer humano son responsables de la falta de interés que Epicuro tenía hacia la explicación de los fenómenos astronómicos. Entender los eclipses, el origen de la luz solar, los movimientos de los planetas o la formación de rayos y truenos se le antojaba una pérdida de tiempo. La ciencia era importante sólo si servía para aumentar el placer. Con respecto a los fenómenos astronómicos, frente a los cuales no se podía hacer nada, lo único necesario era desposeerlos de toda significación mitológica o divina. Los astros no eran dioses, sus mo-

vimientos no eran signos de nada y, por lo tanto, no había que temerlos. El placer epicúreo pasaba por considerar los astros como meros agregados de átomos siguiendo sus movimientos más o menos deterministas. Así se evitaba convertirlos en una fuente de angustia, de respeto o de veneración.

La vida en el Jardín era lo más placentera posible, lo cual significaba, siguiendo las enseñanzas de Epicuro, una existencia relativamente austera. Para obtener el máximo de placer, la moderación era esencial. No hay que pensar en El Jardín como un lugar de constantes fiestas y orgías, sino todo lo contrario: un lugar donde se podía apreciar el más pequeño placer material o intelectual, debido a la austeridad de vida que reinaba. Tampoco tenían los bienes en común, sino que cada uno ayudaba a los demás con lo que poseía personalmente, creando un ambiente de amistad y camaradería.

Epicuro murió alrededor del año 270 a.C. debido a piedras en el riñón. A su muerte, su legado se difundió desde el Jardín por todo el mundo helénico, siendo el epicureísmo una de las teorías en competición con la obra de Aristóteles. La gran objeción al atomismo era, sin embargo, la acusación de ateísmo. En una Grecia donde los dioses eran expresión del orden social establecido, una teoría atea suponía un ataque frontal al fundamento de la sociedad, con lo que el epicureísmo nunca llegó a tener suficiente predicamento entre la intelectualidad helénica.

De todos modos, el individualismo del periodo post-alejandrino ayudó al desarrollo del atomismo epicúreo. Cuando la naturaleza orgánica de la sociedad helénica se desmoronaba, no era extraño el surgimiento de una teoría física que disgregaba la organicidad del mundo en componentes discretos e independientes. Pero el momento álgido de las tesis de Epicuro llegó en el siglo I a.C., en otro contexto político igualmente difícil: la Roma del final de la República.

El siglo I a.C. fue un tiempo difícil en el Imperio de Roma. Las guerras civiles, las revueltas internas como la encabezada por Espartaco (113-71 a.C.), las invasiones a territorios extranjeros, los asesinatos de gobernantes, etc., eran la tónica habitual de la sociedad romana. En este contexto, la búsqueda por la paz y la armonía que Epicuro había predicado resonó en el carácter de un poeta sensible: Lucrecio.

Lucrecio es un personaje confuso del que disponemos poca información fidedigna. Nacido probablemente en el año 94 a.C., Lucrecio fue un

filósofo, poeta, comentador y crítico social, cuya gran obra, el poema *De Rerum Natura,* ha llegado intacto hasta nuestros días. El poema refleja la sensibilidad de alguien que quiere escapar del desasosiego de la vida política de la ciudad y refugiarse en la contemplación de árboles, plantas, arroyos y montes. Se puede inferir también que Lucrecio pertenecía a una familia noble.

El poema *De Rerum Natura* es importante porque es la mejor exposición sistemática que tenemos de las tesis atomistas. Siguiendo la ética epicúrea, Lucrecio buscaba la paz de espíritu y la armonía que había existido en el Jardín ateniense. Para ello desarrolla la amistad y la contemplación de la naturaleza; huye de las insidias de la polis, del ruido y la traición que impera en los centros de poder. Y todo ello, igual que en Epicuro, construido sobre el fundamento del atomismo y de la negación de los dioses y de la vida después de la muerte.

Unos versos del libro II de *De Rerum Natura* nos pueden ayudar a ver cómo Lucrecio exponía las tesis atomistas. Aquí, la palabra átomo y la palabra principio tienen el mismo significado:

> Sígueme siempre tú, y escucha ahora
> cuál es el movimiento con que engendran
> y a los cuerpos destruyen los principios
> de la Materia, y cuál es el impulso
> y cuál la rapidez que hace que vuelen
> por el espacio inmenso sin descanso.
>
> Porque seguramente la Materia
> no es una masa inmóvil, pues que vemos
> disminuirse un cuerpo, y de continuo
> manando, se consumen a la larga
> y el tiempo nos los roba de la vista;
> se conserva sin pérdidas la *suma:*
> empobreciendo un cuerpo, los principios
> van a enriquecer otro, y envejecen
> los unos para que otros reflorezcan;
> ni en un sitio se paran; de este modo
> el universo se renueva siempre,
> y se prestan la vida los mortales;

crecen unas especies y se acaban:
y en poco tiempo las generaciones
se mudan y la antorcha de la vida
cual ágiles cursores se transmiten.

Si piensas tú que los principios pueden
cesar, y que cesando engendran nuevos
impulsos, la verdad de ti se aleja:
pues movidos en medio del vacío
los principios, es fuerza que obedezcan
o a su gravedad misma, o al impulso
quizá de causa externa; desde arriba
precipitados, pues, encuentran otros,
que a un lado los apartan de repente;
no es maravilla, porque son pesados,
durísimos y sólidos, y nada
les pone estorbo alguno por su espalda.

Y para que del todo te convenzas
de que generalmente los principios
están en movimiento, ten presente
no darse lugar ínfimo en el todo,
donde se paren los primeros cuerpos,
porque inmenso, infinito es el espacio.

No reposan jamás en el vacío
los principios: por su naturaleza
en movimiento siempre variado
unos a gran distancia son lanzados,
otros se apartan menos, y se enlazan
en el choque. Si es breve su distancia,
y se repelen poco, y su tejido
se liga íntimamente, constituyen
las rocas solidísimas, y el hierro,
y una corta porción de otras substancias
de esta naturaleza: si, al contrario,
el choque los rechaza y los dispersa,
y los hace vagar por el espacio,
en largos intervalos, nos ofrecen
del Sol la luz brillante y aire raso.

Y vagan además por el vacío
muchos que están privados de juntarse,
o que jamás pudieron agregados
entrar en el concorde movimiento;
de lo cual una imagen y figura
continuamente hiere nuestros ojos,
cuando del Sol los rayos se insinúan
de través por las piezas tenebrosas.
Si reparas, veras cómo se agitan
átomos infinitos de mil modos
por el vacío en el luciente rayo:
y en escuadrones, en combate eterno
se dan crudas batallas y peleas,
y no paran jamás: ya se dividen,
y ya continuamente se repliegan.
De aquí puedes sacar que en el vacío
eternamente los principios giran:
un efecto vulgar puede servirnos
de modelo y de guía en cosas grandes.

El poema de los átomos jugó un papel crucial en las discusiones sobre el atomismo que tuvieron lugar en el siglo XIX, sobre todo en Inglaterra. Pero en los primeros siglos de nuestra era Lucrecio pasó al olvido. Las tesis continuistas y la física de los cuatro elementos fue mejor aceptada. Lucrecio murió alrededor del año 50 a.C. y, según escribió San Jerónimo, la locura le llevó al suicidio.

Bibliografía

Clay, D.: *Lucretius and Epicurus,* Cornell University Press, Ithaca, 1983.
García Gual, C.: *Epicuro,* Alianza Editorial, Madrid, 1981.
Lucretius: *On the Nature of the Universe,* Penguin Classics, London, 1994.
Minyard, J. D.: *Lucretius and the late Republic,* E. J. Brill, Leiden, 1985.
Rist, J. M.: *Epicurus, an Introduction,* Cambridge University Press, Cambridge, 1972.
Skinner, R.: *Lucretius, Prophet of the Atom,* Cambridge University Press, Cambridge, 2003.



PARACELSO
EN BUSCA DE LA QUINTAESENCIA

EUROPA CENTRAL, final del siglo XV. Tras el colapso del Imperio Romano, Europa vivió tiempos difíciles. La desaparición de la organización imperial supuso la proliferación de pequeños señoríos, independientes entre sí. Esta disgregación fomentó las guerras entre los distintos pueblos de Europa y la desaparición de las condiciones para el desarrollo intelectual. Poco a poco, el papel unificador que antaño había ejercido la burocracia del imperio fue recuperado por el poder social, intelectual y económico de los monasterios. A su alrededor se celebraban ferias y mercados, en sus inmediaciones se asentaba la gente en busca de seguridad. En su interior, los monjes estudiaban el depósito de la cultura, y, poco a poco, fueron redescubriéndose manuscritos clásicos que la Edad Media había relegado al olvido. Era el inicio del Renacimiento.

Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim, al que se conocería con el nombre de Paracelso, nació en la ciudad suiza de Einsiedeln. En este paradisíaco enclave rodeado de montañas, ríos y lagos, la abadía benedictina, fundada alrededor del año 947, era el centro de la vida económica, cultural y social de la zona. Su iglesia, dedicada a la Virgen María, se había convertido en lugar de peregrinación desde su fundación.

En tiempos del abad Conrad de Hohenrechberg, el monasterio contaba con los servicios de un médico, el doctor Wilhelm von Hohenheim, formado en Tübingen en el arte de la medicina, la astrología y la alquimia. Su mujer también prestaba servicios en la abadía. Al hijo de ambos, nacido en noviembre de 1493, le pusieron el nombre de Teofrasto en honor

del discípulo de Aristóteles, conocido por su dedicación a la medicina, a la botánica y a la mineralogía.

Acompañando a su padre por los montes cercanos, Teofrasto aprendió el poder curativo de las distintas plantas medicinales. La medicina medieval, siguiendo los pasos de Galeno, médico griego del siglo II de nuestra era, estaba basada en la suposición de que la salud humana consistía en el equilibrio de los diversos *humores* que circulan por el cuerpo. Así, la actividad médica se centraba en administrar hierbas medicinales, o en intentar sacar la enfermedad fuera del cuerpo, con la idea de que éste recuperara la armonía inicial y, por tanto, la salud.

En 1502, cuando Teofrasto tenía ocho años, la familia se trasladó a la ciudad de Villach, en la actual Austria, donde el doctor von Hohenheim había sido destinado. Este nuevo emplazamiento fue determinante para la formación del joven Teofrasto. La escuela de la ciudad estaba íntimamente ligada a la explotación de las cercanas minas de plomo, de modo que los estudiantes aprendían a tratar los distintos metales que se extraían de la mina. De este modo, Teofrasto fue aprendiendo la diferencia entre los distintos metales y las técnicas del momento para purificar el material bruto que se extraía de la mina.

Más adelante, la formación académica de las universidades no le convenció. Siguiendo el método escolástico, los alumnos y maestros se reunían para leer y discutir textos clásicos. Estos textos, traducciones al latín de obras escritas en griego o en árabe, distaban mucho de su contenido original. Se pretendía transmitir el conocimiento establecido por la tradición a base de repetir textos clásicos deformados. En medicina, las tesis de Galeno se estudiaban a partir de la interpretación de Avicena, filósofo árabe de principios del siglo XI. Con ello era imposible discernir qué pertenecía a Galeno, qué a Avicena, y qué a la deformación de las ideas de éstos con el paso del tiempo.

Estando en la universidad, seguramente en la de Basilea, Teofrasto siguió la tradición de latinizar su nombre y escogió el nombre de Paracelso. Cuenta la leyenda que, ya en su infancia, su padre lo había apodado con este nombre para subrayar que, tan joven, el conocimiento médico de su hijo sobrepasaba el del médico Celso, quien había vivido en tiempos del emperador Augusto. También en la universidad Paracelso fue introducido en el ocultismo. La ineficacia del sistema escolástico, junto con el resurgi-

miento del platonismo en el Renacimiento, favoreció la idea de que el verdadero conocimiento estaba oculto en los textos. Por tanto, la verdadera sabiduría se transmitía fuera de los textos canónicos, a base de tradiciones y de poderes ocultos a la mayoría de los mortales.

Aburrido de la universidad, Paracelso se trasladó a Würzburg, al sur de Alemania, para estudiar bajo la guía del abad Trithemius. Éste era conocido por su profundo conocimiento de las cosas ocultas de la naturaleza y su relación con el espíritu. Paracelso aprendió magnetismo y telepatía, y fue forjando una idea que impregnaría su pensamiento: el mundo del microcosmos es un reflejo del macrocosmos. Por tanto, el cuerpo humano tiene un paralelismo con los cielos y los astros. También en esta época Paracelso se interesó por la interpretación oculta y cabalística de la Biblia, tendencia en auge en el Renacimiento, y que consideraba que el texto de la Escritura escondía información cifrada acerca del mundo.

Pero ¿qué tiene que ver Paracelso con nuestra *biografía de la Materia*? A los 22 años empezó a trabajar como químico en las minas de Villach. El material extraído en una mina es siempre una mezcla de distintos metales que deben ser sometidos a distintos procesos para su separación. Normalmente, como en los altos hornos, se necesitan técnicas e instalaciones que permitan la obtención de temperaturas muy altas. Un laboratorio de refinamiento es siempre un lugar caluroso en extremo, lleno de todo tipo de gases y vapores, muchas veces tóxicos, y donde la precisión es una característica imprescindible. Cada metal tiene su momento, su técnica, su secreto. El crisol, la retorta, el mortero, el horno refractario, la cubeta de decantación y el tubo de destilación, todo ello formaba parte del instrumental de los alquimistas en las minas.

Mientras muchos alquimistas soñaban con conseguir el secreto para transformar los metales en oro, o para encontrar la piedra filosofal, Paracelso se centró en las propiedades reales de los metales con que trabajaba. Siguiendo en el marco aristotélico, todo estaba formado de agua, fuego y tierra en distintas proporciones (el aire lo consideraba una mezcla de agua y fuego). A la vez, cada metal parecía tener una propiedad propia, un poder curativo específico, que había que poder extraer en estado puro: su quintaesencia. El poder de cada metal no se basaba, pues, en la proporción que encontramos entre los cuatro elementos, sino precisamente en un

quinto elemento, propio para cada metal, en el que residían todas sus propiedades específicas.

Tal teoría se volvió crucial en la práctica médica que emprendería con el paso del tiempo. Frente a la concepción galénica de la salud, donde el cuerpo humano manejaba un frágil equilibrio entre sus humores, Paracelso intuyó que las enfermedades podían atribuirse al exceso o defecto de alguna sustancia concreta en algún determinado órgano. Debido a su idea de armonía entre el macrocosmos y el microcosmos, debía existir en el mundo natural la sustancia adecuada para cada enfermedad que restaurara la salud del cuerpo. La tarea del médico-alquimista consistía, pues, en hallar la sustancia curativa propia de cada enfermedad. Así empezó una medicina basada en la química, y no tanto en los remedios con hierbas varias o, peor aún, en las tradicionales sangrías cuya lógica era la de intentar expulsar la enfermedad fuera del cuerpo.

A los 24 años, y con deseos de convertirse en un médico experimentado, Paracelso emprendió el gran viaje de su vida, que le llevaría por los grandes centros de la cultura de Europa y Asia Menor. Dejando a su padre en Villach (su madre ya había muerto), Paracelso se dirigió primero a Viena y a Colonia, en cuyas universidades, fundadas dos siglos antes, intentó en vano seguir las enseñanzas de los escolásticos. De ahí marchó a París, donde estudió algunas enfermedades locales y, posiblemente, entraría en contacto con la que era, sin duda, una de las universidades más importantes del Medioevo y el Renacimiento.

De París fue a Montpelier, y de allí a Italia, donde sería testigo de la efervescencia del Renacimiento en las ciudades de Bolonia, Padua y Ferrara. Sus siguientes escalas las hace en España, en Granada y Sevilla, recientemente liberadas del poder árabe, pero donde la influencia de la escuela médica de Averroes es todavía muy fuerte. Después, Salamanca y Lisboa, desde donde embarcará hacia Inglaterra. No es fácil saber qué hizo Paracelso en estos viajes, pero pronto se convence de que el conocimiento que busca no lo encontrará en las universidades tradicionales de la época, sino en el mundo, en los talleres y tabernas, en conversación con la gente. De ahí que, en su escala en Inglaterra, no se molestase en acudir a Cambridge y Oxford, las dos universidades del país, sino que se valió de sus conocimientos de metalurgia para trabajar en el comercio de metales.

A su vuelta en el continente, Paracelso tomó parte en una revuelta contra el futuro rey de España, Carlos I (1500-1558), como médico del ejército rebelde. Al ser derrotados, siguió su itinerario por Europa, lo que le llevó a Dinamarca. Ahí se le confió la salud de la reina madre, quien, enferma de melancolía, fue curada por Paracelso. Con este éxito, el rey le pidió que reorganizara todo el sistema farmacéutico del reino. En 1520, cuando Dinamarca invadió Suecia, el rey lo nombró cirujano jefe del ejército. Con la victoria de los daneses, Paracelso pudo pasar a examinar las minas del norte de Suecia y valorar sus posibilidades comerciales.

El dominio de los daneses sobre Suecia duraría poco y, con ello, Paracelso se vio obligado a huir de la península escandinava en dirección a Rusia. En busca siempre de aventuras, se dirigió a Moscú, donde el duque Basilio (1479-1536) había invitado a intelectuales, artistas, humanistas y astrólogos de Europa para occidentalizar la capital de Rusia. Con ello, Moscú se llenó más de charlatanes, visionarios y oportunistas que de intelectuales. Sin embargo, los tártaros invadieron la ciudad y apresaron a todos los extranjeros. Gracias a sus conocimientos de medicina, el cautiverio de Paracelso fue ligero y hasta se le permitió estudiar las tradiciones médicas de las tribus tártaras, bastante desconocidas en la tradición occidental.

En 1521 acompañó a un príncipe tártaro en una misión diplomática a Constantinopla. Ese viaje supondría su liberación definitiva y el inicio de una expedición por el mundo oriental, donde descubriría el poder curativo de muchas sustancias opiáceas. Tierra Santa y, sobre todo, Alejandría y las riberas del Nilo, fueron sus destinos, siempre siguiendo las rutas comerciales de los venecianos. De ahí que su siguiente etapa estuviera en Grecia y Chipre. En esta isla sufrió el sitio de Rodas por los turcos, en el cual la mayoría de la población murió por el hambre y el cólera. Paracelso pudo abandonar la isla el día antes de su rendición definitiva. Tras una corta estancia en Venecia, decidió poner fin a sus viajes y regresó a la casa donde había vivido con su padre, en Villach, en 1524.

El clima político en Alemania, Suiza y Austria había cambiado mucho durante su ausencia. En 1517 Lutero (1483-1546) colgó sus tesis en la puerta de la iglesia de Wittenberg, y en 1520 quemó públicamente el documento papal que condenaba sus ideas. Éste fue el desencadenante de un ambiente de protesta y ruptura con la autoridad que trascendía el ámbito de lo religioso. Por un lado, muchos de los pequeños estados que confor-

maban Alemania vieron en la elección de las tesis de Lutero una manera de afirmar su independencia del poder de Roma y del poder imperial. Por otro lado, la población rural vio en la revuelta luterana un modo de expresar su malestar por la situación de extrema pobreza en la que se encontraba. Europa se sumió en la revuelta constante.

Paracelso se vio involucrado en el alzamiento de la población de Salzburgo. Como tantas otras revueltas, ésta también fue sofocada por la autoridad y los instigadores, ejecutados. Paracelso escapó de la horca porque él mismo no había empuñado armas. Una particular interpretación de la Biblia es lo que movía a Paracelso a fomentar el alzamiento de los campesinos: la tierra y el agua eran un don de Dios para todos los hombres, y no debían ser poseídos por nadie en particular. Paracelso quería construir un mundo angélico a base de abolir toda pretensión de poder temporal y de propiedad privada.

Expulsado de Salzburgo, Paracelso acabó refugiado bajo la protección del duque de Bavaria, en el castillo de Neuburg, cerca de Ingolstadt. Allí trabajó con el alquimista Hans Filian, a quien el duque había contratado con la esperanza de que algún día consiguiera la transmutación del oro. La búsqueda de los secretos de la Materia era una constante en Paracelso y en todos los alquimistas de la época. Parte del arte de la alquimia implicaba utilizar un lenguaje secreto, misterioso, cuyo significado sólo podía ser captado por los iniciados por un mismo maestro. De todos modos, el lenguaje aparentemente secreto de Paracelso se distingue del utilizado por sus contemporáneos por cuanto que no atribuye poderes espirituales a la Materia. En Paracelso no hay invocación a espíritus o a fuerzas ocultas. Su arte se reduce a buscar los entresijos de la Materia, por lo que muchos lo consideran el primer químico de la historia.

¿Qué aportaciones hizo Paracelso a la naciente química? Por un lado, su sistema clasificatorio, en el que las sustancias eran ordenadas según sus propiedades en las reacciones con otros elementos, y no según sus colores, tamaños o sabores. Así, las sustancias podían clasificarse según las *tria prima,* o tres principios, de mercurio, azufre y sal. Bajo la primera categoría, la de azufre, se designaba a aquellas sustancias que eran activas por su alta combustibilidad o su poder de ataque sobre los metales. El grupo del mercurio incluía las sustancias altamente maleables, volátiles o que se fundían fácilmente. Finalmente, las sales eran aquellos productos que no eran ni

combustibles ni volátiles, y que solían aparecer como resultado de la reacción de azufres y mercurios.

La siguiente etapa del largo periplo que supone la vida de Paracelso nos lo presenta en Estrasburgo, donde intenta establecerse como médico y cirujano. Sin embargo, su falta de acreditación académica y sus métodos poco ortodoxos para la práctica médica de la época le incapacitan para realizar su deseo profesional. Su suerte dará un cambio radical cuando, tras conseguir curar la pierna infectada del influyente humanista Johannes Froben (1460-1527), sin necesidad de amputación, éste se convierta en su mecenas y le facilite que se establezca como médico y cirujano en Basilea.

En medio de las luchas religiosas del siglo XVI, la ciudad de Basilea decidió expulsar a los católicos de su universidad. Con la influencia de Froben y, sobre todo, de Erasmo de Rotterdam (1469-1536), Paracelso consiguió que se le nombrara profesor de medicina en la universidad, lo cual le habilitaba para la práctica médica en la ciudad. Pero su entrada en la universidad no pudo darse con peor pie. Fiel hasta el extremo a sus propios principios, Paracelso escribió un manifiesto para los que quisieran ser sus alumnos en el que negaba la autoridad de los clásicos. Sólo la observación y la experiencia acumulada por él en sus años de práctica podían ser el fundamento de la medicina. Paracelso se enfrentó a la tradición de Avicena, Galeno e Hipócrates, lo cual escenificó en su primera clase cuando, al entrar en el aula, se rasgó las vestiduras de académico, las lanzó al suelo y empezó a enseñar con las vestiduras propias del alquimista.

Esta entrada en Basilea le dio popularidad entre la población. Pero era, sobre todo, su medicina lo que le valió la aceptación popular. Paracelso es el padre de la llamada *iatroquímica,* la idea según la cual las enfermedades pueden ser curadas por la administración de productos químicos. Mientras los alquimistas más recalcitrantes se empeñaban en la búsqueda de oro y otras transmutaciones de metales, Paracelso enfatizó las propiedades curativas de los productos químicos. De este modo, quería destronar la medicina tradicional.

El 24 de junio de 1527, en la noche de San Juan, Paracelso representó de forma definitiva su rechazo explícito de la medicina tradicional de Avicena y Galeno. Rodeado de sus estudiantes, Paracelso lanzó a la hoguera de San Juan el Canon de Avicena. Este episodio, con el que Paracelso quería establecer su autoridad médica en la ciudad de forma definitiva, tuvo el

efecto contrario. Los estudiantes lo empezaron a poner en ridículo, los farmacéuticos, molestos con los cambios que introducía en la organización de las medicinas, empezaron a rebelarse contra él. Finalmente, la ciudad decidió destituirlo de su puesto, y, en 1528, acabó por abandonar la ciudad.

La lucha de Paracelso no era tanto una batalla entre la nueva ciencia (la suya) y la antigua ciencia. De hecho, Avicena y, sobre todo, Galeno eran, de algún modo, la *nueva* ciencia. El Humanismo y el Renacimiento eran, en los siglos XV y XVI, señales de modernidad. Y había sido precisamente ese énfasis por recuperar el conocimiento de los clásicos lo que había llevado a la resurrección de las tesis de Galeno. Eso, unido al neoplatonismo que impregnó la cultura de la época y que atribuía poder oculto a la palabra y a la luz, fue lo que propició el rechazo a las teorías paracelsianas. La *modernidad* renacentista se veía atacada por los planteamientos de un médico de dudosa formación y de oscuros orígenes.

A partir de ahí la vida de Paracelso fue una carrera de obstáculos en la que nunca consiguió el reconocimiento que él esperaba a su trabajo. Siguió componiendo su magna obra en medicina, pero la mayoría de sus obras no serían publicadas hasta mucho después de su muerte. Una idea central en su pensamiento era la noción de fuerza, con la que explicaba los cambios en la Materia a partir de principios (la quintaesencia) propios de la Materia misma. Paracelso quería, con esto, poner fin a toda una tradición medieval y renacentista en la que se atribuía poder a fuerzas ocultas, a espíritus o a principios sobrenaturales. En definitiva, lo material tenía causas materiales. En concreto, las enfermedades tenían causas materiales y podían ser, por lo tanto, tratadas con productos Materiales, productos químicos.

El materialismo de Paracelso se verá mitigado en su última década. Cada vez más interesado por la teología y el papel que juega Dios en la curación de las enfermedades, acabará admitiendo que, en última instancia, es Dios quien sana los cuerpos. Y de ahí arranca una conversión al catolicismo que marcará los últimos años de su vida. En 1532, Enrique VIII se separará de Roma; en 1534 Ignacio de Loyola fundará la Compañía de Jesús; en 1536 Calvino establecerá su propia iglesia en Ginebra. Y ésta es la década en la que Paracelso vuelve a la Iglesia Católica hasta considerarse a sí mismo profesor de teología y místico.

Cansado de vagar por Europa, en 1540 aceptó la oferta de asilo del obispo de Salzburgo. Allí moriría al año siguiente, sin saber que su con-

cepción de la Materia y su idea de la medicina iban a influir sobre químicos, médicos y filósofos naturales en las décadas siguientes. Sus obras se publicarían y serían conocidas en toda Europa en las décadas de 1560 y 1570.

Bibliografía

Grell, O. P.: *Paracelsus. The Man, his Reputation, his Ideas and their Transformation,* Brill, Leiden, 1998.

Pachter, H. M.: *Paracelsus. Magic into Science,* Henry Schuman, New York, 1951.

Puerto, J.: *Paracelso. El hombre en llamas,* Nivola, Madrid, 2001.

Stoddart, A.: *The Life of Paracelsus,* William Rider & Son, London, 1915.

Telepnef, B.: *Paracelsus. A Genius amidst a Troubled World,* Zollikofer & Co, St. Gallen, 1945.



Giordano Bruno
LA MAGIA, LOS ÁTOMOS Y EL INFINITO

En el Renacimiento lo moderno era lo antiguo. Lejos de creer en el progreso lineal del conocimiento, los humanistas del siglo XV y XVI pensaban que la fuente de todo conocimiento estaba en la recuperación de tradiciones antiguas, en cuyos textos se escondía una original sabiduría desvirtuada con el paso de los siglos. Volver atrás significaba volver a los orígenes y, por tanto, al verdadero conocimiento. La Escolástica medieval no había hecho más que introducir disquisiciones y distinciones inútiles que sólo conseguían apartarnos de la verdad. Renacer significaba recuperar las fuentes originarias del saber.

Los textos de Hermes Trimegisto se cuentan entre los más influyentes del Renacimiento. De supuestos orígenes egipcios, y probablemente contemporáneo de Moisés, se creía que Hermes había influido a Pitágoras, a Platón, y a tantos otros sabios de la Grecia clásica. Por tanto, el estudio de sus obras nos acercaba a los más remotos principios de la humanidad y, por tanto, a las fuentes puras del saber acerca del cosmos y de sus orígenes. Por ironías de la historia, Hermes nunca existió, y los textos herméticos datan del siglo II y III de nuestra era. Pero en el siglo XVI nadie lo sabía, y los escritos de Hermes Trimegisto eran tratados con la misma veneración y respeto que la Biblia.

Hablar de Renacimiento es casi lo mismo que hablar de Italia. Y a allí nos desplazamos para hablar de nuestro siguiente personaje. Filippo Bruno nació en la ciudad de Nola, a los pies del Vesubio, en 1548. Nola está relativamente cerca de Nápoles, y Bruno fue enviado a estudiar allí, en el Studium Generale de un tal Vincenzo Colle da Sarno y en el monasterio

de los agustinianos. A los 17 años, Filippo Bruno decidió ingresar en la orden de los dominicos, y tomó el nombre de Giordano.

Como novicio, Giordano Bruno residió en distintos monasterios de la orden y recibió una formación académica muy amplia antes de su ordenación como sacerdote. Como era de esperar en un dominico de su tiempo, Giordano estudió las obras de otro dominico insigne, Santo Tomás de Aquino (1225-1274) y, a través de él, todo el corpus aristotélico, incluidos sus comentaristas árabes y hebreos. Pero también entró en contacto con los filósofos presocráticos, con Cicerón y Virgilio, con Séneca y Ovidio. Y, probablemente también en este periodo, Bruno conocería por primera vez la obra de Raymon Llull (1232-1316).

Pero el carácter de Bruno no era fácil. Su ímpetu le llevaba a discutir la autoridad, a imponer con arrogancia sus ideas, a leer compulsivamente cualquier obra que cayera en sus manos, y a despreciar las ideas ajenas, especialmente si le parecían demasiado ligadas a la tradición escolástica. Su comportamiento dentro de la Orden se hizo cada vez más insostenible, especialmente cuando empezó a defender la herejía arriana, que niega la divinidad de Jesucristo. Tal fue la tensión que se generó alrededor de la figura de Bruno que, antes de que fuese formalmente expulsado de la Orden, éste decidió escapar.

La defensa del arrianismo por parte de Bruno no es casual. Entre los elementos filosóficos del neoplatonismo de la época encontramos algunos mitos acerca de la creación del mundo. La figura del demiurgo como criatura que ordena el cosmos, caótico en su origen, estaba presente en las obras de Hermes Trimegisto, en Platón y en muchos filósofos neoplatónicos. El cosmos contenía una jerarquía de ángeles, arcángeles, tronos y potestades, por encima de los cuales estaba la Palabra, la Mente Ordenadora del universo. En la concepción cristiana de la Creación, la Palabra no es una criatura, sino el mismo Dios, Jesucristo. En las tradiciones platónicas, la Palabra o sabiduría divina era una criatura, y por tanto, inferior a Dios. El arrianismo, herejía surgida en el siglo III, bebía de las fuentes neoplatónicas, y no es por eso extraño que reapareciera en el Renacimiento con el resurgimiento del neoplatonismo.

En 1576, con su huida del monasterio, Bruno empezó un periplo que le llevaría a recorrer Europa: Génova, Turín, Venecia, Ginebra… Por donde pasara, Bruno empezaba enseñando astronomía y teología, pero siem-

pre acababa huyendo debido a sus enfrentamientos con las autoridades civiles, eclesiásticas y académicas del lugar. Finalmente, su suerte cambiaría al llegar a París, en 1581. Allí, Bruno fue inmediatamente conocido por su extraordinaria memoria, un tema muy popular en la época. Siguiendo la obra de Llull, se creía que el dominio y aumento de la memoria estaban ligados con la magia y los poderes ocultos. Bruno, por tanto, fue visto como conocedor de una cierta sabiduría oculta que podía ser de gran utilidad para los intereses de Francia. Así fue como entró en contacto con Enrique III (1551-1589), rey de Francia.

Bajo la protección del rey, Giordano Bruno obtuvo un puesto docente en el Collége de France (no en la Sorbona, donde el choque con las autoridades eclesiásticas habría sido inevitable), y obtuvo licencias para publicar sus obras. De ellas, se conserva el libro *De Umbris Idearum,* en el que Bruno se presenta como heredero de Hermes Trimegisto. En esta obra se perfilan algunos de los elementos centrales del pensamiento de Giordano Bruno, entre los cuales se cuenta un cierto culto al sol como fuente de todo conocimiento, vida y poder, y la denuncia del cristianismo como religión imperfecta que suplanta la religión originaria de raíces egipcias. Sin embargo, el tema central del libro es la memoria. Para Bruno ésta tiene un cierto carácter sobrenatural: en la memoria se graban los arquetipos celestes de las cosas terrestres, que son, a la vez, sombras de las ideas que hay en la mente de Dios. Contemplar los arquetipos tiene un aire de experiencia mística, de fusión con la unidad absoluta que sustenta la aparente pluralidad de cosas. Tal experiencia, lógicamente, es sólo asequible para los iniciados en el arte oculto de la mnemotecnia.

Las ideas religiosas de Bruno eran claramente heterodoxas, tanto para católicos como para protestantes. En el tumulto de la guerra civil francesa entre católicos y hugonotes, Bruno creyó que tendría libertad para propagar su visión del cosmos. Pero no fue así. El rey, a pesar de su interés por la magia y lo oculto, empezó a distanciarse de Bruno, y éste, antes de que la situación empeorara, decidió cruzar el Canal de la Mancha, rumbo a Inglaterra.

Inglaterra, y Londres en especial, era un lugar de destino común entre personas sospechosas de herejía en Europa. Tras la separación de Roma protagonizada por Enrique VIII, Inglaterra vivía un periodo de calma relativa bajo el reinado de Isabel I, la *Reina Virgen* (1533-1603). Las herejías eran perseguidas sólo cuando suponían una amenaza política para la co-

rona, y Giordano Bruno no tenía ningún interés político, por lo que lo consideró su destino ideal.

Sus años en Inglaterra, de 1583 a 1585 fueron los más fructíferos de su vida, en cuanto a producción científico-filosófica se refiere. Interpretar las obras de Bruno no es fácil. Sus libros están escritos en forma de diálogos entre personajes mitológicos (Hércules, Perseo, Isis, Júpiter…) y su contenido es oscuro, precisamente por la constante mezcla de mito y realidad. Pero en todas sus obras se hace explícito el deseo de Bruno de reformar el mundo de acuerdo con sus más remotos orígenes, orígenes que él sitúa en la tradición egipcia. Las guerras de religión que se extienden por Europa no son más que un signo de la decadencia del cristianismo, el cual, siguiendo la tradición helénica y hebrea, intentó borrar el significado último de los elementos naturales.

Bruno también defiende el copernicanismo, aunque por motivos astrológicos y religiosos. En 1543, Nicolás Copérnico (1473-1543) publicó su obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium,* en la que el astrónomo polaco proponía un modelo del universo heliocéntrico, es decir, basado en la idea de que el sol se encuentra en el centro del universo y los planetas orbitan alrededor del sol en órbitas circulares perfectas. La obra de Copérnico tuvo una recepción desigual: mientras que para algunos se trataba de una idea descabellada, otros veían en las tesis copernicanas un modelo útil para la descripción de los movimientos relativos de los astros, aunque no necesariamente verdadero. Para Bruno, sin embargo, la centralidad del sol era un elemento fundamental en su concepción religiosa del mundo e interpreta la imagen copernicana como un jeroglífico que esconde secretos sobre el cosmos y sobre el hombre que nadie ha descifrado todavía.

Aquí es donde Bruno introduce uno de los elementos más significativos de su pensamiento: la existencia del infinito. Siguiendo las tesis de Nicolás de Cusa (1401-1464), filósofo de la primera mitad del siglo XV, Bruno defiende que el mundo necesariamente es infinito, pues es el producto creador de un dios infinito. Si la causa (Dios) es infinita, el efecto (el mundo) también debe serlo. Por tanto, Bruno imagina que existen infinitos mundos, todos ellos siguiendo el patrón copernicano. El firmamento de las *estrellas fijas* no puede ser un límite, una frontera, del universo, sino la puerta de entrada a nuevos mundos. Esta idea sería central para el desarrollo de la astronomía posterior, especialmente cuando Galileo Galilei (1564-1642)

observó con su telescopio que el universo estaba mucho más poblado que lo imaginado por los antiguos.

El Renacimiento es un renacer restaurando lo más antiguo. El poema *De Rerum Natura* de Lucrecio había sido recientemente recuperado y, con él, las tesis epicúreas sobre la felicidad, sobre el atomismo y sobre la fuerza vital que mueve los átomos. Giordano Bruno fue heredero de las tesis de Lucrecio y Epicuro, pero introdujo un vitalismo ajeno al pensamiento de los dos filósofos clásicos. Para Bruno, el cosmos estaba compuesto de átomos, era infinito y, por tanto, podían darse infinitos mundos. Pero estos mundos estaban dotados de una energía interior, de una vida propia, mágica, de la que Lucrecio y Epicuro no habían hablado. Cada mundo es, para Bruno, el centro de la divinidad ilimitada que da unidad a la pluralidad de mundos. Los infinitos mundos son, de algún modo, reflejo del Dios infinito.

Siguiendo los pasos de Lucrecio, Giordano Bruno concibe los cuerpos como agregados de átomos. Los cuerpos se distinguen entre sí sólo en la cantidad y distribución de los corpúsculos que los forman. No existe la muerte, sólo existe movimiento; un movimiento eterno que hace que las apariencias vayan cambiando. Los átomos se distribuyen y re-distribuyen dando lugar a distintos cuerpos que existen por un tiempo y dejan de existir. Un trozo de pan, un árbol, un león, una piedra… son, en el fondo, lo mismo: agregados de átomos.

Tras algunos intentos de ser aceptado en la universidad de Oxford, Bruno pasó dos años en Londres, bajo la protección del embajador de Francia, Mauvissière. Pero éste tuvo que volver a París, ciudad a la que también volvió Giordano Bruno. Tras un viaje accidentado, en el que el barco fue atacado por piratas, la llegada a París recordó a Bruno el clima de tremenda tensión religiosa que se vivía en el continente europeo. Francia estaba dividida entre la postura católica del rey y los nobles y la fuerte presencia social de los hugonotes, espoleados por el rey de Navarra. Una nueva guerra civil en Francia, como la que llevó a la matanza de San Bartolomé en 1572, era inminente. De hecho, el clima de guerra civil en Francia era una constante desde 1559 y duraría hasta el edicto de Nantes, en 1598, en el que se garantizaba la libertad religiosa a la vez que imponía el catolicismo como la religión del Estado.

En este clima, Giordano Bruno intentó primero reconciliarse con la Iglesia Católica a través del Nuncio Papal en París y también del jesuita

Alonso Spangolo. Pero su readmisión en la Iglesia estaba condicionada a su vuelta a la orden de los Dominicos, lo que Bruno no estaba dispuesto a aceptar. Tras este intento fallido de reconciliación, Bruno mantuvo su mordaz ironía hacia la autoridad de la tradición y de la jerarquía.

Con ello Bruno se ganó la enemistad de diversos círculos intelectuales de París, con lo que, en 1586, decidió abandonar la ciudad y seguir su peregrinación por el centro de Europa. En los dos años siguientes nos lo encontramos en las ciudades alemanas de Mainz, Wiesbaden, Marburg y Wittenberg. En esta última ciudad, Bruno consiguió el derecho para enseñar filosofía públicamente, cosa que se le había denegado en los otros lugares. Esto le daría una cierta estabilidad para seguir escribiendo sus libros. En esta época se limita a escribir comentarios críticos a la cosmología y la retórica de Aristóteles. Pero el equilibrio de poderes en la ciudad de Wittenberg cambió. El luteranismo que imperaba hasta ese momento se vio desplazado por el calvinismo, más radical y beligerante con la diferencia, con lo que Bruno perdió sus licencias para enseñar, y emigró una vez más: a Praga y, después, a Frankfurt.

Durante su trashumancia por Europa, Giordano Bruno va explicitando su atomismo cada vez con mayor fuerza. Átomos e infinito eran dos piezas clave de su cosmología. Los átomos eran entidades físicas, cuerpos con dimensiones, no puras abstracciones matemáticas. Por tanto, eran impenetrables e indestructibles; dos átomos no pueden fundirse entre sí, sino que siempre permanecen distintos, separados. Esto implica que, propiamente, dos átomos nunca se tocan. Tocarse implicaría que hay una zona en la que ambos se funden, se disuelven en una unidad. La frontera entre ambos sería una zona perteneciente a los dos átomos. Por tanto, no hay, estrictamente hablando, contacto entre átomos. Siempre hay un espacio infinitesimal que los separa, que mantiene la total individualidad de cada uno de los átomos.

¿Qué tipo de entidad tiene el espacio entre los átomos? En Giordano Bruno la naturaleza del espacio interatómico no es clara. Por un lado, es reacio a considerarlo como vacío absoluto, coincidiendo en esto con las tesis aristotélicas. Pero por otro lado, ciertamente ese espacio no puede ser Materia, porque entonces estaría compuesto por átomos. Podemos considerar que se trata de una cierta Materia que no es del todo material: quizás la sede del alma cósmica.

Otra característica de los átomos de Giordano Bruno es que son todos iguales. No sólo son indivisibles, sino que el átomo es la mínima unidad de la Materia y, por tanto, nada los distingue entre sí. Bruno mantendrá la distinción de los elementos aire, agua, tierra y fuego sólo para referirse al mundo macroscópico. Para él son los elementos del mundo visible, pero no sus principios últimos. Cada uno de los elementos está compuesto de átomos, de átomos que no se distinguen unos de otros ni por su tamaño, ni por su forma, ni por sus propiedades.

Lógicamente, es imposible observar los átomos. Pero sí es posible razonar sobre ellos para intuir algunas de sus propiedades. Bruno consideraba que los átomos eran necesariamente esféricos. Siguiendo la tradición clásica, tan importante en astronomía, la esfera era considerada la figura más simple, más perfecta. Por su simplicidad y carácter fundamental, era de esperar que los átomos fueran esféricos. Esta esfericidad hace más intuitiva la idea anterior de la falta de contacto entre átomos. Dos esferas sólo se *tocan* en el punto de tangente. No hay una superficie de contacto, sino sólo un punto. Y éste, como tal, no tiene dimensiones.

Estando en Frankfurt, en 1591, Giordano Bruno recibió una invitación de Zuane Mocenigo para ir a Venecia. Mocenigo era un noble veneciano que, como le había sucedido al rey de Francia años antes, esperaba obtener la sabiduría oculta de Bruno, que le haría más poderoso. Pero Mocenigo no obtuvo lo que esperaba, ya que la ciencia de Bruno le resultaba imposible de asimilar. La decepción y el enfado del mecenas fueron en aumento y, en mayo de 1592, cuando Bruno quería viajar a Frankfurt para revisar la publicación de un nuevo libro, Mocenigo se propuso retenerle a la fuerza en Venecia. Y, para conseguirlo, decidió acusarle ante el Santo Oficio para que no pudiera abandonar el ducado. Esta decisión precipitada tendría consecuencias fatales para Giordano Bruno.

A los pocos días de su encarcelamiento, Bruno fue sometido a un intenso interrogatorio acerca de sus posturas en materias de fe católica, especialmente en cuanto a la divinidad de las tres Personas de la Trinidad. Al principio, Bruno trató de subrayar el carácter meramente filosófico y especulativo de muchas de sus afirmaciones, e incluso abrigaba la esperanza de convencer a sus jueces de la validez de sus opiniones. Pero los juicios de la Inquisición no eran lugares para la discusión filosófica y, al final del interrogatorio, Giordano Bruno decidió hacer una retractación explícita de todo aquello que fuera contrario a la fe católica.

Tras este primer interrogatorio, Bruno tuvo un verano tranquilo en Venecia, mientras su caso era estudiado más detenidamente. Pero en septiembre de 1592, la Inquisición Romana solicitó su traslado a Roma para ser examinado allí. Esto desencadenó un problema diplomático entre Venecia, Nápoles y Roma. Los tribunales de la Inquisición tenían jurisdicción local. Eran tribunales civiles y eclesiásticos que dependían tanto del príncipe como del obispo del lugar. La Inquisición no era, por tanto, una macroestructura de la Iglesia Católica válida en todo el mundo. Giordano Bruno era nacido en Nápoles y era la Inquisición de Venecia la que estaba juzgando su caso. ¿Por qué quería Roma inmiscuirse en este caso?

Se pueden entender algunos elementos por los que Roma quería juzgar el caso de Giordano Bruno. Las órdenes religiosas tenían una dependencia directa con la Santa Sede y no con los obispos locales. Giordano Bruno, como miembro de una orden religiosa, debía ser juzgado en Roma. Pero también la gravedad y el carácter internacional de su obra obligaban a Roma a tomar cartas en el asunto. Giordano Bruno, sacerdote dominico, había viajado por todo el mundo protestante, e incluso había escrito grandes elogios de la reina Isabel I de Inglaterra, cabeza de la Iglesia Anglicana. Cuando la Inquisición de Venecia empezó a intervenir, espoleados por la decepción de Mocenigo, el caso de Bruno se fue agrandando como una bola de nieve imparable.

El juicio de Bruno duró ocho años. De 1593 a 1600. En este tiempo, los jueces le presentaban tesis heréticas que se derivaban de sus obras para que se retractase; pero en todas las ocasiones Giordano Bruno prefería una defensa de sus opiniones frente a la retractación. El largo tiempo que pasó en prisión se puede interpretar como un intento de los jueces para que Bruno abjurara de sus ideas heréticas y abrazara la ortodoxia, al menos nominalmente. El carácter público de sus obras hacían necesario, para la mentalidad de la época, una retractación igualmente pública. Pero Bruno insistía en defender cada vez con más ahínco sus propias ideas. Finalmente, el Santo Oficio decretó un listado de tesis de Giordano Bruno que eran declaradas heréticas. Si éste no se retractaba públicamente de ellas, la pena prevista era de 40 años de cárcel.

La sentencia de Giordano Bruno es muy ilustrativa del funcionamiento de la Inquisición. Por ser clérigo, el Santo Oficio tenía la potestad de juzgarle. Si se le declaraba culpable, como de hecho se hizo, la condena

consistía en desposeerle de su condición de clérigo y de religioso, con lo que pasaba inmediatamente a depender de las autoridades civiles. Eran éstas, y no la Inquisición como tal, las que se encargarían de castigar el delito de herejía de acuerdo con las leyes civiles del lugar. Sin embargo, y a pesar de la retórica de la sentencia eclesiástica, en la que se dice explícitamente que los Inquisidores insistirán en que el castigo no suponga ningún mal físico al condenado, la pena por herejía en Roma era, en aquel momento, la muerte en la hoguera. Giordano Bruno fue quemado en el Campo di Fiore de Roma, el domingo 19 de febrero de 1600, en medio de la expectación de la opinión pública romana.

BIBLIOGRAFÍA

GATTI, H.: *Giordano Bruno and Renaissance Science,* Cornell University Press, Ithaca, 1999.

GATTI, H. (ed.): *Giordano Bruno. Philosopher of the Renaissance,* Ashgate, Hants, 2002.

MICHEL, P. H.: *The Cosmology of Giordano Bruno,* Methuen, London, 1973.

SINGER, D. W.: *Giordano Bruno. His Life, his Thought,* Henry Schuman, New York, 1950.

YATES, F.: *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition,* Routledge, London, 1964.



RENÉ DESCARTES
EN BUSCA DE LA CERTEZA

PARÍS, FINAL del siglo XVI. Por fin ha llegado la paz, tras años de guerra civil entre católicos y hugonotes. El rey de Navarra, Enrique IV (1553-1610) ha accedido al trono y, en 1598, ha proclamado el edicto de Nantes que da una cierta libertad religiosa al reino, a la vez que lo hace oficialmente católico. A su muerte, asesinado por un fanático, le sucede su hijo, Luis XIII (1601-1643), quien, bajo la influencia del todopoderoso cardenal Richelieu (1585-1642), convertirá su reinado en la primera monarquía absoluta de la Francia moderna.

Durante su reinado, Europa vivió uno de los episodios más sangrientos de su historia: la Guerra de los Treinta Años. Entre 1618 y 1648 los reinos europeos se enzarzaron en una apasionada lucha por el dominio del continente. En el siglo XVI, los príncipes alemanes habían decidido poner fin a las luchas de religión adoptando la siguiente política: cada principado asumiría la religión de su líder *(cuius regio eius religio,* en latín). Con esto, la dinastía de los Habsburgo introdujo una tolerancia religiosa en el Sacro Imperio Romano que no fue del agrado de las monarquías más absolutistas, como la francesa, inglesa, española, danesa y sueca, por no decir la decepción de los Estados Vaticanos.

Suecia y Dinamarca, como Inglaterra, habían decidido ser oficialmente protestantes. Francia y España eran oficialmente católicas. En el siglo XVI, el emperador Carlos V había dominado sobre el Sacro Imperio Romano como paladín del catolicismo más reaccionario, y España todavía mantenía sus dominios en los Países Bajos, con lo que tenía un claro interés por establecer su poder en partes de Alemania. Suecia y Dinamarca

querían, por otro lado, ganar influencia en Alemania, para lo que estaban interesadas en conseguir que toda Alemania fuera uniformemente protestante. ¿Y Francia? Bien, Francia estaba interesada en dominar el oeste de Alemania, y así consolidar su poder en Centroeuropa. Sus enemigos, por lo tanto, no eran los suecos y los daneses, sino los españoles e italianos. De ahí que, bajo la influencia del cardenal Richelieu, la católica Francia se aliara con los protestantes en este magno conflicto.

La Guerra de los Treinta Años fue algo más que una guerra de religión: fue un reajuste de la balanza de poder en Europa en el que se estaba decidiendo el sistema de gobierno de los estados modernos. Alemania representaba el viejo sistema: un emperador sin poder que reinaba sobre una federación de príncipes locales. Éstos ostentaban el poder real sobre sus pueblos. Por otro lado, en Francia, España, Dinamarca y Suecia se estaba desarrollando otro modo de gobernar: el absolutismo. El rey ostentaba el poder total sobre su territorio. El rey lo dominaba todo y, con ello, podía organizar con eficacia y uniformidad todo el reino. Ya no había que contar con la complicidad de los gobernantes intermedios, sino que el rey establecía su red de burócratas al servicio del Estado, con los que poder imponer su voluntad sin necesidad de pedir favores. Frente a los reyes nómadas y pedigüeños de siglos anteriores, estaba emergiendo el concepto moderno de estado-nación en el que el rey ostenta todo el poder, poder que administra desde una corte central. Es el origen de los grandes palacios reales, de las grandes cortes europeas, símbolos del poder más absoluto.

La incertidumbre, el cambio y las ansias de dominio absoluto son elementos centrales en el pensamiento de nuestro nuevo personaje: René Descartes. Nacido en La Haya, cerca de Poitiers, el 31 de marzo de 1596, recibió su primera educación de manos de su abuela, junto con sus dos hermanos, Pierre y Jeanne. Su madre murió en un parto difícil al año de su nacimiento, y su padre, abogado de profesión, solía ausentarse de casa por largos periodos. Entre 1606 y 1614, Descartes fue alumno del colegio de La Fléche, abierto por los jesuitas dos años antes. Allí Descartes aprendió todo el saber aristotélico bajo los comentarios de los jesuitas, especialmente Suárez. También se familiarizó con todo el saber clásico de manos de Cicerón, Virgilio, Homero y Platón, a la vez que estudiaba las matemáticas de Euclides y Clavius.

En La Fléche, algunos de los estudiantes también se preparaban para ser ordenados sacerdotes jesuitas con el estudio de la teología; pero Des-

cartes no sintió ningún tipo de atracción hacia ese tipo de vida. Sin embargo, la formación jesuita sí le dio una sólida base católica, fe a la que se mantuvo fiel toda su vida. A lo que Descartes no se mantendría fiel fue a la pedagogía escolástica que aprendió de los jesuitas. La enseñanza de raíces medievales se centraba en el sistema *quaestio-lectio-disputatio:* se planteaba una cuestión para analizar, tras lo cual se presentaban todas las respuestas que los filósofos clásicos y medievales habían dado. La *disputatio* tenía como objetivo llegar a la respuesta aceptada por tradición a partir de los argumentos de los clásicos. Fieles no sólo al espíritu medieval, sino también al espíritu del Renacimiento, los intelectuales asumían que, de un modo u otro, todo el saber posible estaba ya presente en los textos de los antiguos.

A los 18 años, se trasladó a la universidad de Poitiers, donde estudió Derecho, más por seguir los designios paternos que por interés real por la Materia. Tras los tres años en la universidad, Descartes decidió alistarse como voluntario en diversos ejércitos. No participó en ninguna batalla significativa, y parece ser que su interés real no era tanto la milicia como ver mundo: viajó por los Países Bajos, Hungría, Polonia y Alemania.

En uno de estos viajes, estando en la ciudad holandesa de Breda en 1619, Descartes conoció a Isaac Beeckman (1588-1637), con el que entablaría una profunda amistad. Este encuentro fue de vital importancia para la vida de Descartes. Beeckman se consideraba a sí mismo como físico matemático, una categoría totalmente novedosa en la época. Su idea era que los fenómenos de la naturaleza podían ser representados matemáticamente. Hoy en día estamos acostumbrados a esta mezcla, pero en el siglo XVI y principios del XVII la unión de física y matemáticas era sólo la idea de algunos filósofos. De hecho, Descartes había estudiado física y matemática en el colegio de La Fléche; pero ambas disciplinas eran totalmente inconexas: la física estudiaba los fenómenos naturales, sus causas y sus variedades, mientras que las matemáticas estudiaban las proporciones, eternas e inmutables, entre idealizaciones numéricas. Se trata de la antigua dicotomía entre lo permanente (el número) y lo contingente (el mundo aparente). Pretender unir ambas dimensiones era, cuanto menos, una contradicción y, quizás, una locura.

La matematización de la naturaleza no era una empresa exclusiva de Beeckman. Quizás el ejemplo más conocido es el de Galileo Galilei, quien

estaba, por esos mismos años, estudiando el movimiento de los cuerpos usando el lenguaje matemático. Es famosa su aserción de que la naturaleza es como un libro abierto escrito en caracteres matemáticos. Las raíces neoplatónicas de tal matematización son claras. La Academia de Platón, en la Atenas clásica, exigía el conocimiento de las matemáticas como elemento imprescindible para la filosofía: si se trataba de acceder al mundo de las Ideas, al mundo de lo permanente, de lo estable, las matemáticas eran el punto de partida natural para tal empresa.

Descartes pasó diez meses en Breda, donde escribió sus primeros trabajos. En ellos se percibe un creciente interés por las ciencias de la naturaleza y por las matemáticas. Pero también se atisba la que será la idea central de Descartes: reconsiderar totalmente el conocimiento que poseemos, comenzar de cero, empezar a construir sin contar con lo ya sabido. Una tarea ciertamente ambiciosa y que, en 1620, es todavía un sueño que considera inalcanzable. Todavía le queda mucho por conocer, por lo que sigue su viaje por Europa, por una Europa inestable e insegura en la que ya ha estallado la guerra.

De estos viajes se conoce muy poco. Sabemos que estuvo en Ulm, que pasó por Italia y Copenhague y que estuvo en París en periodos relativamente largos. Allí conocería al sacerdote y matemático Marin Mersenne, (1588-1648) quien, con el tiempo, se convertiría en el primer propagador de la obra de Descartes. También estuvo en contacto con Gassendi (1592-1655), Arnauld (1612-1694) y Hobbes (1588-1679).

En 1628 Descartes abandona París y se dirige a los Países Bajos, donde pasará los próximos veinte años dedicado al estudio y a la producción filosófico-científica. En una primera etapa escribe un tratado de óptica, otro de meteorología y, quizás el más importante de esta primera época, el *Tratado del Hombre.* Los tres libros, junto con material que se ha perdido, estaban pensados para formar un gran tratado del mundo. Sin embargo, cuando Galileo fue condenado, en 1633, por defender el heliocentrismo, Descartes abandonó la idea de publicar su gran tratado, en el que, entre otras cosas, también defendía el copernicanismo. También por esta época, concretamente en 1635, Descartes tiene una hija natural, Francine, que moriría a los cinco años.

En 1637 se publica el *Discurso del Método* y, en 1640, las *Meditaciones.* Ambas obras constituyen, para muchos, el inicio de un nuevo modo de pensar y de ver el mundo. El Renacimiento no había introducido un cam-

bio radical en el modo de hacer ciencia. La Edad Media y el Renacimiento consideraban que el verdadero conocimiento se tenía que basar sobre los textos de los antiguos, como si todo el conocimiento estuviese ya, de algún modo, escrito. Descartes se deshace totalmente de este prejuicio. La tradición y la interpretación de textos puede ser fuente de inagotables disputas que no llevan a ningún saber cierto. Como ejemplo, Descartes estaba viviendo en primera persona las guerras de religión que asolaban Europa: las luchas intelectuales entre católicos y protestantes tenían las mismas fuentes; lo que variaba era su interpretación.

Para Descartes, la razón necesitaba otro modo de trabajar. Había que empezar de nuevo, había que empezar de cero para evitar los vicios del pasado. Era necesario romper con la tradición y someter a la razón a una metodología infalible que la hiciera invulnerable al error. De este modo, las disputas desaparecerían, las guerras se terminarían y la verdad brillaría para todos. Se acabaría con el ocultismo, con las distintas tradiciones e interpretaciones. Cualquier ser humano, aplicando las reglas metódicas de la razón, podría llegar al conocimiento de la verdad. Éste es el sueño de Descartes y, por extensión, el sueño fatuo de la Modernidad.

La metodología que Descartes propone es claramente matemática: desmenuzar la pregunta a tratar en tantas partes como sea posible, atacar cada una de ellas por separado y proceder con total cautela, revisando una y otra vez los pasos que se han llevado a cabo. Ésos son los consejos que todo alumno de Primaria recibe cuando, después de haber aprendido las cuatro reglas del cálculo, se enfrenta, por primera vez, a problemas matemáticos. Esos consejos se los debemos a Descartes.

El punto de partida del método cartesiano es la duda. Hay que empezar como si nada se supiese, y no aceptar como válido nada que no haya sido demostrado o que no sea evidente de por sí. Las demostraciones se basarán, pues, en última instancia, en unas pocas verdades absolutamente evidentes; verdades que no pueden ser negadas debido a la fuerza con la que se presentan a mi razón. ¿Qué verdades son ésas? Aquí es donde se introduce una de las frases más célebres de la filosofía: «pienso, luego existo». Para Descartes, la primera y más evidente verdad es la de mi propia existencia. Los sentidos me pueden engañar, pero el hecho de que estoy pensando es innegable. Y de él derivo la primera verdad absoluta: la de mi existencia.

El sistema cartesiano prosigue hasta llegar a otras dos verdades fundamentales: la existencia de Dios y la existencia de la Materia. Con ello tenemos ya los tres pilares, las tres sustancias sobre los que fundar el edificio del saber: la sustancia pensante o alma, la sustancia divina o Dios, y la sustancia extensa o Materia. Las implicaciones de esta división son múltiples y éste no es el lugar para hablar de todas ellas. Sólo nos centraremos en las que hacen referencia explícita a nuestra *biografía de la Materia.*

El mundo de Paracelso y de Giordano Bruno era, de algún modo, un mundo *vivo.* Herederos de un cierto aristotelismo deformado, la Materia estaba compuesta de propiedades activas. Las cualidades como el calor, el frío, el color, la humedad, la gravedad… eran el resultado de *formas,* o principios activos, que residían en la Materia. En la física de Aristóteles, los cuerpos Materiales estaban dotados de *formas accidentales.* Éstas eran la cantidad, cualidad, acción, pasión, tiempo, lugar, relación, estado y posición. De éstas, sólo la primera, la cantidad, es directamente medible.

Descartes pretende desposeer a la Materia de las formas accidentales. La Materia está muerta; no hay principios activos, ni quintaesencias, ni nada que mueva a la Materia desde dentro. La separación entre sustancia pensante y sustancia extensa, la separación radical entre alma y cuerpo, constituye uno de las columnas vertebrales de su pensamiento. El ser humano es un agregado de dos cosas distintas: su cuerpo y su alma. Siguiendo el ejemplo que antaño utilizara Platón, el alma mueve el cuerpo desde fuera, como el piloto maneja una nave. Sin el alma, el cuerpo es sólo un cuerpo inerte, sin vida, sin actividad.

De todos los accidentes de la Materia sólo la cantidad es mensurable. Y como el método para la verdadera ciencia es el método matemático, Descartes decide estudiar sólo la cantidad; es decir, todo aquello, y sólo aquello, que se puede medir: el movimiento, el volumen, la figura y la ordenación relativa de las distintas partes. El resto, simplemente no existe. El color, el sabor, el calor, etc., son sólo atributos secundarios de la Materia, que deben ser reducidos a elementos primarios, a elementos matematizables.

Al reducir Materia a extensión, es decir, al asimilar los cuerpos materiales con el espacio que ocupan, el mundo cartesiano estaba totalmente lleno. La idea de un espacio vacío, sin cuerpos, es totalmente ajena a Descartes, ya que lo que define al espacio es estar ocupado por un cuerpo. De ahí que el mundo de Descartes sea un pleno absoluto. ¿Qué hay entre los cuer-

pos? Otros cuerpos, ya estén en forma líquida, gaseosa, o en forma etérea, es decir, Materia que no presenta gravedad. Y es este contacto constante entre los distintos cuerpos el que explica las fuerzas de unos sobre otros.

El mundo es como un gran reloj. Cada pieza ocupa un espacio determinado, y sus movimientos están determinados por los movimientos de las piezas colindantes. Todas las propiedades y toda actividad de los cuerpos se pueden explicar en función de extensión y de movimientos. Descartes concibe el mundo como un gran reloj, en el que no sólo las piezas se mueven unas a otras por contacto, sino que la cantidad total de movimiento se conserva: el movimiento que pierde una parte se trasmite a otra parte, de manera que la cantidad total de movimiento en el cosmos se conserva. En esto, Descartes es un poco heredero de la tradición medieval, tradición en la que se pensaba que los cuerpos estaban dotados de una cierta inercia, de una cierta fuerza interna que los impulsaba a moverse. Pero en Descartes esta fuerza interna es una fuerza de todo el universo: al crear el mundo, Dios no sólo formó los cuerpos, sino que otorgó una cantidad de movimiento, de energía, que nunca desaparece.

¿Y los átomos? Para Descartes, el atomismo era una imposibilidad. Ciertamente, los cuerpos eran distintos entre sí; pero le parecía que la idea de unidades mínimas indivisibles era una contradicción. Si los cuerpos eran extensos, es decir, si los cuerpos ocupaban un cierto espacio, éstos eran siempre, en principio, divisibles. En principio, porque quizás se daba una imposibilidad física de dividir cuerpos muy pequeños; pero Dios siempre podría dividir un cuerpo, por pequeño que fuera, en cuerpos más pequeños. De lo contrario, la omnipotencia de Dios estaría en entredicho.

Descartes concibe tres estados de la Materia: la Materia tercera, que constituiría los cuerpos macroscópicos que observamos ordinariamente; la Materia segunda, formada por átomos pequeños, y que ocupa el espacio entre cuerpos; y la Materia primera, o residuo de Materia, que serían átomos de tamaños variables, fruto de las colisiones varias entre los cuerpos anteriores. Esta Materia sutil o etérea no tiene gravedad y, por lo tanto, no se puede percibir. La Materia segunda es la que, formando vórtices o remolinos, sería responsable de fuerzas como la de la gravedad.

La estancia de Descartes en los Países Bajos fue bastante nómada. Vivió en Ámsterdam, en Franeker, en Deventer, en Leiden, en Utrecht. Sus

enseñanzas se empezaron a difundir por Holanda y Francia, donde la crítica al aristotelismo escolástico era recibida con entusiasmo por algunos, y con frontal oposición por otros. Entre las personas con las que se carteó durante su estancia en Holanda, su constante correspondencia con Pierre Gassendi es de gran importancia.

Gassendi, filósofo, sacerdote católico y matemático, nacido en 1592, era uno de los grandes intelectuales de la Francia de la primera mitad del siglo XVII. Miembro del llamado «círculo de Mersenne», llegó a ser profesor de matemáticas en el College Royal, tras su formación inicial en su Provenza natal. La carrera intelectual de Gassendi es compleja, dada la variedad en la metodología y en los temas que trató. Su trabajo incluyó el estudio de la caída libre de los cuerpos, siguiendo la línea de Galileo, experimentos sobre la presión atmosférica, e intentos de medir la velocidad del sonido. También dedicó tiempo a la astronomía y la geología.

Las discusiones de Gassendi con Descartes se centraron fundamentalmente en dos aspectos: el papel que juega la observación en la investigación científica, y la validez del atomismo de Epicuro como explicación de la Materia. La búsqueda de la certeza y la desconfianza en los sentidos llevaron a Descartes a fundamentar el conocimiento en las ideas que aparecen en la mente de forma clara y distinta. Para él, los sentidos pueden engañarnos y, por lo tanto, no pueden garantizar conocimiento verdadero.

La solución que propone Gassendi a la búsqueda de la certeza es la contraria: la mente no puede ser el origen de la certeza, ya que ésta no es pasiva, sino activa. Y en su actividad, la mente puede equivocarse. Sin embargo, los sentidos son totalmente pasivos; simplemente reciben la información que viene de fuera, por lo que no pueden cometer errores en sus percepciones. Para Gassendi, los sentidos externos son la única fuente de información válida para todos los ámbitos del saber, a excepción de la teología. Así, la vieja disputa entre realidad y apariencia se disuelve: lo observado es lo único que podemos conocer; no hay realidades ocultas, no hay sustancias inobservables, no hay esencias escondidas. Por tanto, el modo como Descartes ha llegado a las tres sustancias básicas de Dios, mente y extensión, es del todo inválido.

La disputa entre Gassendi y Descartes sobre el origen del conocimiento es crucial para comprender el origen de lo que hoy llamamos la ciencia moderna. En los laboratorios modernos la naturaleza es interrogada, no sim-

plemente observada o pensada. La filosofía natural clásica y renacentista se debatía entre la observación de la naturaleza y el análisis lógico de los principios que rigen los fenómenos. La noción de experimento es una unión de las dos tendencias. El experimento observa, pero observa interrogando; es decir, creando unas condiciones especiales que nos mueven a medir (no sólo observar) sólo un determinado aspecto de los fenómenos físicos.

Si Gassendi confiaba en los sentidos como fuente de conocimiento, ¿cómo es posible que defendiera el atomismo? Los átomos, claramente, no se ven. Aquí Gassendi introduce la noción de la *explicación más probable.* No hay certeza absoluta acerca de la existencia de los átomos, pero la explicación de Epicuro y Lucrecio es la más aceptable de todas las posibles: todos los cuerpos, incluso los gaseosos, oponen una cierta resistencia a ser comprimidos; es decir, en todos los cuerpos hay un cierto grado de solidez, tal como había podido comprobar en sus experimentos con barómetros. Por tanto, Gassendi infiere que todos los cuerpos deben estar formados, en última instancia, por partículas sólidas.

Como consecuencia, Gassendi también critica la identificación cartesiana entre Materia y extensión, y prefiere considerar, como hiciera Giordano Bruno antes que él, que el espacio vacío es como el receptáculo en el que los cuerpos existen. Espacio y Materia son, pues, dos entidades totalmente distintas: el espacio es, de algún modo, anterior a la Materia. De nuevo son sus experimentos con barómetros los que le llevaron a aceptar la existencia del vacío; es decir, del espacio sin Materia.

La controversia entre Descartes y Gassendi fue intensa. Pero, ¿cómo eran estas controversias en el siglo XVII? Antes de la publicación de las *Meditaciones,* en 1641, Descartes envió el manuscrito a Mersenne para que éste lo hiciera circular entre los filósofos de su círculo. Los que leían el manuscrito enviaban cartas al autor, quien las respondía por escrito, a veces en forma de apéndice a la obra publicada, a veces en forma de carta abierta. De este modo, las *Meditaciones* poseen un largo apéndice en el que Descartes responde a las críticas de Gassendi, mientras que éste publica, en 1644, las *Disquisitio Metaphysica,* donde ejerce su derecho de réplica. La animadversión entre ambos, muy agresiva a veces, se prolongó hasta 1648.

Con la paz de Westfalia, en 1648, Descartes decidió aceptar la invitación de la reina Cristina de Suecia (1626-1689) a seguir trabajando en su corte. Suecia se había convertido, tras la Guerra de los Treinta Años, en

una de las principales potencias europeas, con lo que el traslado a Estocolmo podía significar para Descartes un reconocimiento institucional a su trabajo que le diera estabilidad económica. Pero la sed de cultura de la joven reina Cristina le costaría la vida a Descartes. La reina deseaba tener las clases de filosofía a las 5 de la mañana, en un país donde las temperaturas invernales son tremendamente frías. No es de extrañar, pues, que, a los pocos meses de llegar a Suecia, Descartes contrajera una pulmonía, de la que murió el 11 de febrero de 1650, a los 53 años de edad.

Bibliografía

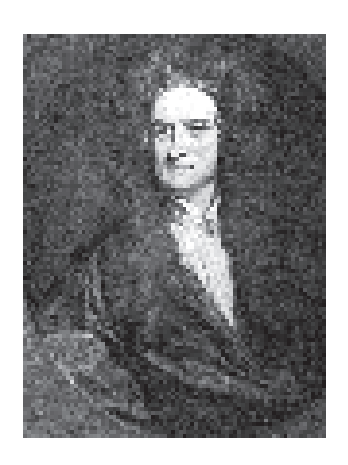
Chica Blas, A.: *Descartes: geometría y método,* Nivola, Madrid, 2001.

Osler, M. J.: *Divine Will and the Mechanical Philosophy. Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the Created World,* Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

Rodis-Lewis, G.: *Descartes. His Life and Thought,* Cornell University Press, Ithaca, 1998.

Toulmin, S.: *Cosmopolis: the Hidden Agenda of Modernity,* Free Press, New York, 1990.

Vrooman, J. R.: *René Descartes. A Biography,* G.P. Putnam's Sons, New York, 1970.



Isaac Newton
La autoridad de los átomos

La paz que Giordano Bruno había encontrado en la Inglaterra de Isabel I estaba a punto de desaparecer. El clima de guerra en Europa empezó a hacerse sentir en las Islas Británicas, donde el Parlamento se resistía a aceptar que su rey desde 1625, Carlos I (1600-1649), emulara al monarca francés en su deseo de instaurar el absolutismo. La tensión entre el rey y el Parlamento fue en aumento hasta que, en 1642, estalló la guerra civil entre seguidores del rey y defensores del Parlamento. En 1649 el Parlamento declaró que el rey Carlos I era culpable de traición al país y fue decapitado. Empezaba la primera y única república inglesa bajo el poder de Oliver Cromwell (1599-1658).

Cromwell, natural de Huntingdon, población muy cercana a Cambridge, se convirtió en el gobernante del Reino Unido hasta su muerte en 1658. Tras él, Carlos II, exiliado en Francia, fue entronizado como rey, restaurando así la monarquía de los Estuardo. Los años de la guerra civil y la república fueron también, como en el resto de Europa, años de tensión religiosa. Enrique VIII se había declarado jefe de la iglesia nacional inglesa, independiente de Roma, en 1531; pero desde el punto de vista doctrinal, Inglaterra se había separado muy poco del catolicismo. La influencia de los luteranos y calvinistas durante los reinados de Enrique VIII e Isabel I había sido muy moderada. Sin embargo, Cromwell, formado en el seno de una familia profundamente puritana, se vio a sí mismo como el enviado de Dios para acabar con todos los elementos católicos y establecer el puritanismo en el país.

Durante su mandato Cromwell llevó a cabo constantes campañas contra los católicos irlandeses y saqueó la mayoría de las iglesias británicas, ha-

ciendo desaparecer todos los elementos heredados de la tradición católica. Para los puritanos, sólo Dios merece culto: los santos no deben ser adorados y las iglesias deben estar vacías de símbolos e imágenes sagradas. Todavía hoy, al visitar las iglesias antiguas en las Islas Británicas, se pueden apreciar los destrozos hechos por el ejército de Cromwell: estatuas decapitadas, ventanales sin imágenes en los cristales, retablos quemados y altares destrozados. El proyecto de Cromwell pasaba por una purificación de la fe y la abolición del poder de la jerarquía eclesiástica, a la que veía como colaboradores e instrumentos corruptos del poder real.

En este ambiente se desarrolla la primera etapa de la carrera de Isaac Newton. La universidad de Cambridge, donde Newton fue profesor entre 1669 y 1701, era uno de los centros de la polémica: Oliver Cromwell había sido miembro del Parlamento inglés por esta demarcación. Tras la restauración de la monarquía, la zona era todavía escenario de venganzas y ajustes de cuentas de los años de la guerra civil. En este ambiente de tensión se desarrolló la carrera del personaje que ahora nos ocupa: Isaac Newton.

Newton nació el día de Navidad de 1642, pocos meses después de la muerte de su padre, en Woolsthorpe Manor. La fecha de su nacimiento fue, en su imaginación, una señal del Cielo: Newton se veía a sí mismo como un nuevo Mesías, con la misión de restaurar el conocimiento de Adán. Heredero de tradiciones renacentistas y herméticas, Newton creía que antes del pecado original los seres humanos vivían en un estado de conocimiento perfecto de la naturaleza. La tarea del filósofo residía en intentar recuperar esa pureza, esa claridad en el saber. Teología, alquimia y filosofía natural se fundían en una unidad que Newton pretendía restablecer.

A la edad de tres años, Newton se quedó solo con su abuela tras el segundo matrimonio de su madre. Esto favoreció su tendencia a la soledad, la lectura y la introspección. A los 13 años fue enviado a una escuela donde enseguida despuntó por sus cualidades. Allí aprendió los primeros rudimentos en la construcción de máquinas y en las técnicas químicas para la elaboración de tintes y medicinas. El director de la escuela, impresionado por la inteligencia de Newton, hizo todo lo posible para que éste fuese a estudiar a Cambridge. Fue aceptado en el Trinity College, a donde llegó en junio de 1661.

Sus primeros años en Cambridge no fueron muy felices. Su mentalidad altamente puritana chocaba con el libertinaje que reinaba entre los estu-

diantes más adinerados. Además, para poder pagar los estudios, Newton había sido aceptado a condición de prestar servicios a otros estudiantes y *fellows* del College. La formación que recibía tampoco le satisfacía. Como en tantos establecimientos académicos tradicionales, Cambridge todavía enseñaba los postulados aristotélicos. Lo que más le satisfacía en esta primera época fue el estudio de las matemáticas. Isaac Barrow (1630-1677), el primer profesor de la cátedra Lucasiana, le facilitó familiarizarse con las matemáticas clásicas de Euclides y las modernas de Descartes.

También se fue distanciando de la física aristotélica y acercándose al mecanicismo de Robert Boyle (1627-1691) y René Descartes. Pero Newton también se mostró hostil a explicaciones meramente mecanicistas del mundo. Su programa de investigación también incluía los fenómenos que más se alejaban del mecanicismo: la memoria, la voluntad, el color. En esta época decidió llevar a cabo experimentos con sus propios ojos para analizar hasta qué punto la visión dependía de la voluntad: para ello se pasó horas mirando fijamente al sol, tras lo cual estuvo dos semanas ciego y en cama. También llegó al extremo de insertar un punzón en la parte inferior del ojo para intentar entender el papel que el ojo juega en la percepción del color. Estos *experimentos* nos muestran un aspecto del carácter de Newton: su pertinacia hasta límites obsesivos.

La teoría del color de Boyle, de herencia aristotélica, sostenía que el color era una propiedad que aparecía como resultado de modificaciones que la luz ejercía entre el ojo y el cerebro. De ahí la obsesión de Newton para llegar a interferir en su propio nervio óptico con algún instrumento. Menos dolorosas fueron sus observaciones con prismas, que le llevaron a visualizar la descomposición de la luz blanca en los colores del arco iris, con lo que demostró que la luz ordinaria era un compuesto de los colores del espectro.

Entre 1665 y 1667 Newton tuvo que regresar a su casa de Woolthorpe debido a la peste que se declaró en Cambridge. Allí siguió con sus experimentos ópticos, pero también se centró en el estudio de las colisiones, del movimiento y de la astronomía. Durante su retiro forzado en Woolthorpe, Newton también desarrolló otro de los elementos por los que es más conocido: el cálculo integral, o método de las fluxiones según la terminología de Newton, que permite sumar magnitudes variables infinitamente pequeñas. Su intuición fue darse cuenta de que el cálculo integral está re-

lacionado con el cálculo diferencial; en concreto, que la integral de una función y su derivada son funciones inversas. O dicho de otro modo: que el área comprendida bajo una curva y la tangente a esa curva están íntimamente relacionadas. Finalmente, en octubre de 1666, Newton publicó su primer tratado, en el que compiló todos sus descubrimientos de los últimos dos años. Con esto, Newton se convierte, a los 24 años, en una de las grandes figuras de la matemática en Europa.

En 1668, tras los exámenes orales pertinentes que duraban varios días, Newton fue elegido *Master of Arts,* lo cual equivalía a ser admitido como *fellow* de pleno derecho del College. Era habitual que todo miembro de Trinity College se comprometiera a dedicarse primordialmente a la teología y a recibir las órdenes sagradas cuando llegara el tiempo oportuno, lo cual, habitualmente debía tener lugar a los siete años de su admisión.

La carrera de Newton en Cambridge fue meteórica. A los dos años de su elección como *fellow* de Trinity College, Newton consiguió la cátedra Lucasiana de matemáticas. Asombrado por el talento del joven *fellow,* Isaac Barrow decidió dimitir de la cátedra para que el Newton la ocupara. También fue Barrow el que hizo público el talento de Newton a base de enviar sus trabajos a los círculos científicos de Londres, incluyendo la recién establecida Royal Society. Sin embargo, la primera recepción de Newton en Londres no fue del todo favorable. Su teoría de la luz fue acogida con sospecha e incredulidad. La mezcla de matemáticas y observación que sus estudios presentaban, inusitada por aquel entonces, y la arrogancia y seguridad con la que explicaba sus teorías, fueron la causa de tal hostilidad.

Pero nada de esto intimidó a Newton. Su deseo de reformar el conocimiento científico era sólo parte de un proyecto más ambicioso, al cual se creía llamado por Dios. Su misión era la de restaurar lo que él creía ser el cristianismo originario: un cristianismo parecido al defendido por Arrio en el siglo IV. En el cristianismo, tanto protestante como católico, Jesucristo es Dios, una de las tres Personas del Dios Uno y Trino: Padre, Hijo y Espíritu Santo son las tres Personas de la Trinidad. Para los arrianos, como para Newton, la expresión *Hijo de Dios* con la que se nombra a Jesucristo implicaba una dependencia de Jesús con respecto de Dios. Pero Newton no podía defender esta tesis públicamente. La intolerancia religiosa que Cromwell había mostrado hacia los católicos se extendía tam-

bién contra los antitrinitarios. Además, no deja de ser irónico que el más famoso miembro de Trinity College no creyera en la Trinidad.

Su situación en Cambridge se volvió peligrosa cuando, en 1675, debía ser ordenado ministro de la iglesia Anglicana, tal como mandaban los estatutos de la universidad. Newton no estaba dispuesto a actuar contra su conciencia, con lo que veía próximo el final de su estancia en Cambrige. Sin embargo, por motivos que se desconocen, Newton consiguió que se le dispensara formalmente de recibir las órdenes sagradas y de jurar fidelidad al credo de la iglesia de Inglaterra.

Todavía hay gente que se sorprende de que Newton, el icono de la ciencia moderna por excelencia, estuviese interesado por cuestiones teológicas hasta el extremo de dedicarle más tiempo a la teología que a la filosofía natural. En su mente, como en la de cualquier filósofo del siglo XVII, ambos aspectos estaban íntimamente ligados. Investigar el comportamiento del mundo y comprender a Dios eran dos lados de una misma moneda. En la empresa de conocer todo estaba relacionado, todo interesaba. Por eso no es extraño que, junto con la teología y la mecánica, Newton también se dedicara a la alquimia.

Siguiendo la tradición hermética que hemos visto en Giordano Bruno, Newton creía que la investigación química era un instrumento de purificación del alma, además de fuente de conocimiento acerca de la naturaleza más íntima del cosmos. El viejo objetivo alquimista de transformar el mercurio en oro o de encontrar la piedra filosofal era sólo parte de un proyecto más ambicioso: dominar la Materia desde dentro. Newton tenía una visión cósmica en la que el mundo se asemeja a un gran animal o, mejor, un vegetal, en el que hay un constante equilibrio de fuerzas ocultas y poderes vitales en cooperación mutua. La disolución de sustancias, la fermentación, el magnetismo, el poder purificador del fuego y los ácidos, y la afinidad entre sustancias químicas eran elementos de este gran sistema de fuerzas que es el mundo.

Los años entre 1675 y 1685 son cruciales para entender el desarrollo del pensamiento de Newton en lo que respecta a su teoría más conocida, la teoría de la gravedad. En esta época su correspondencia con los grandes hombres de ciencia del momento es muy intensa. Espoleado por Robert Hooke (1635-1703), secretario de la Royal Society durante 40 años, Newton empezó a pensar en la causa del movimiento de los planetas alre-

dedor del sol. La teoría más aceptada en aquel entonces era la que Descartes había sugerido: la existencia de vórtices o remolinos en el éter que rodea al sol y que empuja los planetas en sus movimientos orbitales. El estudio en la trayectoria del cometa que apareció a finales de 1680 fue de vital importancia.

Los cometas parecen dirigirse en línea recta hacia el sol, pero cuando se acercan suficientemente al astro rey, su trayectoria se desvía, rodean al sol, y se alejan de él también en línea recta. En vez de orbitar alrededor del sol, su movimiento es más parecido a una atracción seguida de repulsión. Pero ¿qué es lo que priva que los cometas *caigan* al sol? Con esta pregunta Newton intuyó que, en el fondo, el movimiento de los planetas no era muy distinto al movimiento del cometa. Ambos eran atraídos en línea recta hacia el sol, pero su velocidad tangente a esa atracción los mantiene en órbitas elípticas. Sin esa fuerza de atracción en línea recta hacia el sol, los planetas saldrían disparados por su tangente, como cuando soltamos la cuerda con la que hacemos girar una piedra en movimiento circular.

A remolque del cometa de 1680, los astrónomos de Londres, John Flamsteed (1646-1719), Edmud Halley (1656-1742) y otros, retomaron las especulaciones acerca de la naturaleza de la acción del sol sobre los planetas. El heliocentrismo, es decir, la cosmología que considera el sol como el centro del universo, había sido objeto de polémica durante el último siglo. Poco a poco, y a pesar de la condena a Galileo, el modelo heliocéntrico se había ido imponiendo al tradicional modelo geocéntrico. Pero la razón por la cual los planetas orbitaban alrededor del sol era todavía un misterio. Los vórtices de Descartes parecían solucionar el problema sólo de modo parcial, con lo que muchos astrónomos estaban buscando explicaciones alternativas. Entre ellas, se barajaba la posibilidad de que el sol ejerciera una fuerza central inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. El cálculo de fluxiones que Newton había desarrollado le permitió demostrar que, con una fuerza de esas características, las órbitas de los planetas serían elípticas, tal como Kepler había demostrado.

El golpe maestro de Newton tuvo lugar entre 1684 y 1686. La atracción que el sol ejercía sobre los planetas no era debido a ninguna propiedad misteriosa del astro rey. Newton sugirió que la causa de la fuerza de atracción era la masa de los cuerpos y que, por tanto, la atracción era un fenómeno mutuo entre todos los astros. Éste es el concepto de gravitación

universal por el que Newton es conocido: todos los cuerpos se atraen con una fuerza proporcional a sus masas y al cuadrado de la distancia que los separa.

La gravitación universal también implica que la causa por la que los planetas siguen órbitas elípticas alrededor del sol es la misma por la que la luna circula alrededor de la tierra, y también la misma por la que una piedra cae al suelo. Newton puso todas estas ideas juntas en el que es posiblemente el libro más influyente en la historia de la ciencia: los *Principios Matemáticos de Filosofía Natural.* El título de este libro refleja un nuevo modo de hacer ciencia. Mientras Descartes había defendido la necesidad de estudiar el cosmos a partir de ideas que se presentan a la mente de forma clara y distinta, Newton estaba subrayando la centralidad de las matemáticas para describir el mundo. La filosofía natural debía, por tanto, seguir una metodología matemática totalmente vacía de hipótesis y especulaciones.

La vida que Newton llevaba en Cambridge era muy solitaria. Salía poco de su habitación. Cuando lo hacía, paseaba por el jardín del College hasta que, inspirado por alguna idea, volvía rápidamente a su mesa. Como profesor de la universidad estaba obligado a dar clases públicas; pero éstas eran tan aburridas que nadie asistía. Con este éxito de público, Newton decidió dejar en la biblioteca unas lecciones escritas y así evitar tener que dar clases en aulas vacías. Tampoco tuvo mucho éxito con el número de alumnos a los que dirigir trabajos individualmente. En los más de 30 años que ocupó la cátedra, Newton sólo supervisó a tres estudiantes.

Pero con el impacto que tuvieron los *Principia,* Newton no podía pasar desapercibido. En 1687 aceptó ser miembro del Parlamento como representante de la universidad, donde intervino activamente en la ley de libertad religiosa. Muy a su pesar, no consiguió que tal libertad se extendiera a católicos y antitrinitarios, con lo que Newton seguía manteniendo ocultas sus creencias. Con esta decepción volvió a sumergirse en una actividad intelectual frenética que le alejó de la vida social.

Hacia 1690 retoma con ímpetu sus estudios teológicos, empeñado en demostrar la falsedad del dogma Trinitario y la manipulación que la Biblia había sufrido con el paso de los siglos para justificar la divinidad de Cristo. La correspondencia con el filósofo John Locke (1632-1704) pone de relieve la sintonía que existía entre los dos. También por estos años vuelve

a dedicarse a la práctica de la alquimia. Posiblemente un excesivo contacto con mercurio, sustancia de gran toxicidad, fue la causa de que Newton tuviera que abandonar toda actividad por una temporada larga.

La etapa de Cambridge terminó hacia 1696. En ese año, Newton aceptó el puesto de director del *Mint,* la casa de moneda de Inglaterra, donde se enfrentó a la tarea de poner orden en el valor de las monedas que se acuñaban. Este puesto público significó un cambio radical en su vida. Su vida en Londres fue totalmente distinta a la que había llevado en Cambridge. Fue nombrado *Sir* y, en 1703, accedió a la presidencia de la Royal Society. Desde este cargo, Newton se consolidó como la figura más relevante de la ciencia británica del siglo XVIII.

La Royal Society de Londres fue fundada en 1660 por el rey Carlos II (1630-1685), tomando como base las reuniones informales, y a veces secretas, que tenían algunos académicos de Oxford y Londres. La idea de una asociación independiente que regulara y promoviera la discusión en filosofía natural había sido avanzada por Francis Bacon (1561-1626), canciller del reino a principios del siglo XVII. A mitad del siglo, personajes como Robert Boyle, Robert Hooke o Christopher Wren (1632-1723), empiezan a reunirse en lo que Boyle llamó la *Sociedad Invisible.* La idea original era tener reuniones filosóficas que fuesen independientes del poder religioso y del poder político. Sólo así podría la ciencia avanzar. Cuando el rey Carlos decidió consolidar la sociedad bajo el patrocinio de la corona se comprometió a mantenerla totalmente independiente y alejada de injerencias ideológicas.

El lema de la Royal Society era *Nullius in Verba,* que significa algo así como que nada será aceptado sólo por el testimonio de una sola persona. Con ello se enfatizaba que en la Royal Society sólo se aceptaría como verdadero aquello que pudiera ser demostrado públicamente, ya sea con observaciones o con razonamientos. Por tanto, la sociedad se convirtió en un foro de discusión pública en la que los filósofos naturales podían comunicar sus nuevas teorías, sólo si accedían a ser analizadas y discutidas por otros. Se pretendía, así, terminar con el ocultismo de la alquimia y con la autoridad de los clásicos como fuente de saber absoluto.

Los buenos deseos de transparencia no fueron siempre alcanzados. Es famosa la controversia acerca de la prioridad del cálculo integral. El matemático alemán Gotfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) sostenía que él ha-

bía descubierto antes que Newton el cálculo integral y, de acuerdo con los cánones de honor de la época, reclamó una rectificación pública por parte de Newton. La Royal Society, bajo la presidencia del propio Newton, decidió establecer un comité de expertos que se pronunciara sobre la polémica. La reciente obra de teatro de Carl Djerassi, *Calculus,* nos muestra los entresijos de esta comisión. Todos los expertos eran afines a Newton o ignorantes en matemáticas. Con esto no es de extrañar que la Royal Society declarara solemnemente la prioridad de Newton en el desarrollo del cálculo integral.

La autoridad de Newton en el mundo científico era indiscutible. Sus opiniones, sus sugerencias, sus especulaciones en todo lo que se refiere al mundo natural eran tomadas seriamente y pasarían a influir la ciencia del siglo XVIII y XIX de un modo absolutamente determinante. De ahí que, en esta *biografía de la Materia,* nos interese saber cuál era su postura en relación a la naturaleza de la Materia. En los *Principia* Newton había establecido las bases para la mecánica celeste y la mecánica terrestre. La gravedad explicaba el comportamiento de los cuerpos. Pero Newton no había contestado a dos preguntas fundamentales: qué es la Materia y qué es la gravedad.

En uno de los apéndices del libro sobre óptica que escribió en 1706, Newton dice:

> Dios creó desde el comienzo la Materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras propiedades y en una proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el cual fueron creadas. Estas partículas primitivas, al ser sólidas, son incomparablemente más duras que cualesquiera cuerpos porosos formados a partir de ellas. Tan duras, incluso, como para no gastarse ni romperse nunca en pedazos, pues ningún poder ordinario es capaz de dividir lo que el mismo Dios ha hecho uno en la primera creación. (…) Por consiguiente, puesto que la naturaleza ha de ser perdurable, los cambios de las cosas corpóreas han de ser atribuidos exclusivamente a las diversas separaciones y nuevas asociaciones de los movimientos de estas partículas permanentes, al ser rompibles los cuerpos sólidos, no en el medio de dichas partículas, sino allí donde se juntan, tocándose en unos pocos puntos solamente.

A estas alturas de nuestra historia ya podemos identificar la influencia de los atomistas clásicos sobre el pensamiento de Newton. También

hay que tener en cuenta la influencia que tuvieron los experimentos que Torricelli y Boyle habían llevado a cabo en Italia e Inglaterra, experimentos que apuntaban a la existencia del vacío. Si el vacío existía, las teorías cartesianas de la Materia eran problemáticas. Era más fácil pensar en un espacio vacío en el que se movían los corpúsculos que componen la Materia.

Los átomos de Newton no eran, como los de Lucrecio, totalmente pasivos. Eran átomos que ejercían entre sí fuerzas de corto alcance, de manera parecida a como los cuerpos grandes actuaban entre sí con la gravedad, la electricidad y el magnetismo. El mundo de Newton era tanto mecánico como químico, por lo que es lógico que sus átomos poseyeran estas fuerzas de corto alcance. Así creía que podría explicar los fenómenos químicos de manera parecida a como había desarrollado su teoría de la gravedad. Por lo que respecta a su segunda pregunta —qué es la gravedad— Newton contestó con una de sus frases más célebres: no invento hipótesis *(hypotheses non fingo).*

La noche del 20 de marzo de 1727, tras varios meses de cólicos nefríticos, Newton murió en su casa de Londres. Como todos los personajes relevantes del mundo inglés, fue enterrado en la Abadía de Westminster con todos los honores de Estado. Su tumba es todavía hoy una de las más impresionantes del lugar, en la que se mezclan símbolos matemáticos, astronómicos y científicos. Se creía llamado por Dios a revelar los secretos del mundo, y así lo trataron los hombres tras su muerte.

Bibliografía

Christianson, G. E.: *In the Presence of the Creator: Isaac Newton and his Times,* Free Press, New York, 1984.

Fara, P.: *Newton: The Making of Genius,* Macmillan, London, 2002.

Fauverl, J. (ed.): *Let Newton be!,* Oxford University Press, Oxford, 1988.

Hall, R.: *Isaac Newton: Adventurer in Thought,* Blackwell, Oxford, 1992.

Knox, K. C., and Noakes, R.: *From Newton to Hawking. A History of Cambridge University's Lucasian Professors of Mathematics,* Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

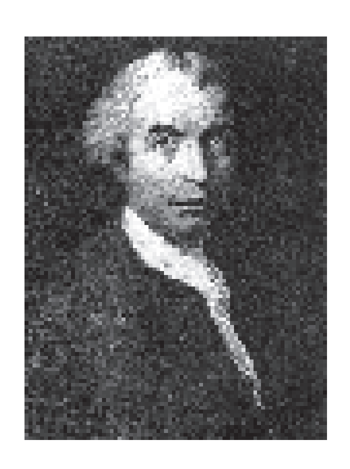
Manuel, F.: *A Portrait of Isaac Newton,* Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 1968.

McMullin, E.: *Newton on Matter and Activity,* Notre Dame Press, Notre Dame, 1978.

Muñoz Santonja, J.: *Newton: el umbral de la ciencia moderna,* Nivola, Madrid, 1999.

Westfall, R. S.: *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton,* Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

White, M.: *Isaac Newton, the last Sorcerer,* Fourth Estate, London, 1997.



Roger Boscovich
JESUITA Y CORTESANO

Primeras décadas del siglo XVIII. La ciudad de Dubrovnik, en la costa del Adriático, está en plena efervescencia comercial, cultural y arquitectónica. Se está reconstruyendo la catedral, que sufrió muchos daños en el terremoto de 1667, mientras el resto de Europa está, una vez más, en guerra. Esta vez es la sucesión al trono de España que ha llevado a Francia, Inglaterra, Holanda, España, Portugal y el Sacro Imperio Romano a una lucha por la hegemonía del continente. Dubrovnik ha conseguido mantenerse al margen y seguir desarrollándose, como lo ha hecho en los últimos siglos. Su particular localización, punto de confluencia entre distintas culturas eslavas, ha hecho posible el florecimiento de la ciudad.

Allí nació, el 18 de mayo de 1711, Roger Boscovich en una familia de comerciantes de profundas raíces católicas. De sus siete hermanos, casi todos mayores que él, tres ingresaron en órdenes religiosas. Roger aprendió a leer y a escribir de manos del párroco local, y a los ocho años, fue enviado al colegio que los jesuitas tenían en Dubrovnik. Ese colegio, que todavía existe como seminario de la Compañía, lleva hoy el nombre de Roger Boscovich.

La educación en un colegio jesuita europeo a principios del siglo XVIII tenía una gran calidad. La Compañía de Jesús se había erigido como garante de la cultura de la Europa católica después del Concilio de Trento. Sus colegios y universidades eran auténticos centros de investigación filosófica, teológica y científica. Junto a las obras de Aristóteles y Santo Tomás, los colegios jesuitas tenían observatorios astronómicos y geológicos, y laboratorios químicos. Su misión era la de mostrar la compatibilidad en-

tre el saber teológico en su interpretación aristotélico-tomista y las modernas ciencias de la naturaleza.

Como hemos visto en capítulos anteriores, el Renacimiento había supuesto un nuevo modo de ver el mundo basado en la recuperación de la cultura clásica. El giro que la cultura dio con la Ilustración del siglo XVIII fue totalmente distinto. Los ilustrados despreciaban el conocimiento clásico y medieval como obsoleto. Había que mirar hacia adelante, partir de cero y olvidar el pasado, tal como había intentado Descartes. La Ilustración inventa un concepto nuevo: el progreso; la idea de que lo nuevo, por el hecho de ser nuevo, es mejor que lo antiguo.

La Compañía de Jesús había sido fundada en 1534 por San Ignacio de Loyola (1491-1556). Su voto de lealtad al Papa la había convertido en un instrumento al servicio de la defensa de la ortodoxia católica. Pero la Compañía, al contrario que otras órdenes religiosas, no tenía raíces medievales; era un producto claramente renacentista que ahora, a principios del siglo XVIII, se debatía entre lo clásico y la idea de progreso. ¿Debía abandonar la filosofía de Aristóteles o defenderla a cualquier precio? La carrera intelectual de Boscovich es un claro exponente de esta tensión entre lo nuevo y lo antiguo: entre Newton y Aristóteles.

En el colegio de Dubrovnik la educación duraba entre cinco y siete años, y era impartida toda en latín, a pesar de que la población hablaba normalmente en ilírico y en italiano. Se enseñaba retórica y gramática, y se fomentaba el desarrollo de la memoria con el aprendizaje y la recitación de las obras de Virgilio y de Cicerón. Cada estudiante tenía asignado un compañero de clase con el que competía por sacar las mejores calificaciones, lo cual daba a la educación en el colegio de los jesuitas un marcado carácter de competición, junto con su exigencia en el orden y en el trabajo serio.

Roger Boscovich mostró grandes aptitudes intelectuales. Pero en Dubrovnik no había instituciones de enseñanza superior. Las familias adineradas solían enviar a sus hijos a las universidades más prestigiosas de Italia: Roma, Padua, Bolonia… El gobierno de la ciudad también enviaba algunos estudiantes prometedores a estudiar medicina, farmacia, derecho y lo que hoy llamaríamos ingeniería para que, al volver, se convirtieran en los altos cargos de la ciudad. Boscovich no siguió ninguna de estas dos rutas. Para poder seguir avanzando en sus estudios decidió ingresar en la Com-

pañía de Jesús e ir al Colegio Romano, la mayor institución académica de los jesuitas.

En septiembre de 1725, con sólo 15 años, Roger Boscovich se trasladó a Roma. Allí pasó casi 20 años de su vida formándose como sacerdote, jesuita, filósofo y matemático en el Colegio Romano y en la universidad Gregoriana, también dirigida por los jesuitas. La formación de un novicio como Boscovich era muy exigente, en lo intelectual, en lo espiritual y en lo personal. Además de seguir lo ejercicios espirituales que San Ignacio había establecido, el candidato debía renunciar a todas sus posesiones y a sus relaciones personales, incluidas las relaciones con la familia.

Tras los primeros años de formación, el joven jesuita debía dedicarse cinco años a la enseñanza primaria en alguno de los colegios de la Compañía. Es durante esos años que Boscovich descubrió las obras de Isaac Newton. La fascinación por Newton marcó su periodo de docencia: por un lado, tenía la obligación de enseñar; por otro lado, su mente estaba ocupada en entender y desarrollar la física de Newton. Este encuentro marcaría la dirección de su carrera intelectual. Boscovich se convertiría en uno de los primeros en defender la física de Newton en Italia.

Alrededor de 1735 publica su primera obra, *Carmina,* un poema sobre la esperanza cristiana en el fin del Imperio Otomano. También en forma de poesía desarrolla su primera obra astronómica, *De Sollis ac Luna Defectibus,* sobre los eclipses. Otras obras sobre eclipses, sobre el problema de las manchas solares y, sobre todo, sus observaciones del tránsito de Mercurio (el paso de Mercurio frente al sol), despertaron el interés de otros matemáticos en la potencialidad de Boscovich, convirtiéndose así en una joven promesa.

Al terminar su periodo como maestro de escuela, Boscovich reemprendió su formación, en este caso la teológica necesaria para el sacerdocio. Durante este tiempo la cátedra de matemáticas en el Colegio Romano quedó vacante. El General de la Orden dio el puesto a Boscovich, aunque fuera inusual nombrar a un novicio para tan codiciado puesto. La valía de Boscovich como matemático y astrónomo empezaba a ser reconocida dentro de la Compañía y en el Vaticano. Entre 1735 y 1744 Boscovich escribió 22 obras científicas. Sus intereses incluían la astronomía, la forma de la tierra, la aberración de la luz, estudios teóricos de la influencia del medio en el movimiento de los planetas, estudios matemáticos sobre el cálculo infinitesimal y estudios en mecánica.

Durante su estancia en Roma, Boscovich conoció tres Papas: Benedicto XIII (1649-1730), Clemente XII (1652-1740) y Benedicto XIV (1675-1758). Este último, elegido en 1740 y gran apasionado por la ciencia astronómica, se interesó por la obra de Boscovich, quien pasó a ser un protegido del Vaticano, del Papa, y de su Secretario de Estado, el cardenal Valenti Gonzaga (1725-1808). La elección de Boscovich como asesor vaticano tuvo sus frutos. En 1742, el Papa estableció una comisión que estudiara la estabilidad de la cúpula del Vaticano. Habían transcurrido casi 150 años desde su construcción, y la cúpula presentaba grietas. En la ciudad de Roma se rumoreaba que, en cualquier momento, la cúpula podía derrumbarse, por lo que el Papa decidió que se estudiara el modo de asegurar su estabilidad. Entre las propuestas que se presentaron, se adoptó la de Boscovich: afianzar la cúpula con una serie de aros metálicos que la rodearan. Tras este trabajo Boscovich recibió otros encargos arquitectónicos en el Vaticano.

El periodo de formación como jesuita llegó a su fin en 1744. Tras casi 20 años en Roma, Boscovich fue ordenado sacerdote y profesó los votos en la Compañía de Jesús. Con ello, su tiempo para la investigación científica se multiplicó. El periodo entre 1744 y 1757 es el de mayor producción intelectual. Fue admitido como miembro en la Accademia degli Arcadi, una sociedad cultural cuyo principal interés era el arte y la poesía. El objetivo de esta sociedad era librar a la ciudad de Roma del barbarismo y del mal gusto con la promoción del arte y las buenas formas. La poesía de Boscovich era de suficiente refinamiento como para que fuese aceptado en este círculo intelectual.

Su buen gusto, su formación intelectual profunda, sus maneras refinadas y su carácter afable le abrieron las puertas de la alta sociedad romana. Boscovich se sentía a gusto en estos ambientes cultivados. Era la época en la que las academias ilustradas florecían por toda Europa. Las discusiones matemáticas, las observaciones astronómicas, la colección de animales disecados, etc., pasaron a formar parte del ocio de las clases altas, junto con otras actividades más tradicionales como el teatro, la ópera y la caza. Es la época en la que nacen los gabinetes de curiosidades, en los que los aristócratas se convierten en coleccionistas de animales y plantas como si fueran obras de arte. En 1746 Boscovich es nombrado miembro de la Academia de París, el más importante centro ilustrado de Europa.

Su pasión por las observaciones astronómicas le valió el encargo papal de preparar un nuevo mapa de los Estados Vaticanos. En el siglo XVIII las tareas del geógrafo y del astrónomo se confunden. Es necesario establecer, con gran precisión, los puntos cardinales, lo cual se hace con observaciones astronómicas. Además, las observaciones del horizonte y de puntos fijos a largas distancias se asemejan a las observaciones de los astros en sus técnicas y en sus instrumentos. La empresa, que duró dos años, entre 1750 y 1752, estuvo llena de problemas. Las gentes, en las poblaciones por las que pasaban, recelaban de los enviados papales. A la vista del instrumental que llevaban consigo, muchos pensaban en hechizos y brujería. La utilización de los campanarios de las iglesias como puntos fijos desde los que medir distancias se interpretó como sacrilegio. La ilustración todavía no había llegado a una población supersticiosa.

La influencia de Boscovich en Roma empezó a asustar a algunos superiores jesuitas y a fomentar la envidia y la desconfianza entre otros. Algunos consideraban sus ideas filosóficas y su pasión por Newton peligrosas para la ortodoxia de la fe. El problema no era sólo de Boscovich. La Compañía de Jesús, que tanto había servido a los intereses de la fe católica, se debatía entre la tradición y la modernidad. Mientras la filosofía natural avanzaba por los cauces mecanicistas de Descartes y Newton, la enseñanza en las escuelas de los jesuitas estaba todavía firmemente basada en las teorías aristotélicas. La investigación estaba permitida, pero a aquellos que mostraban originalidad en sus ideas se les apartaba de las tareas docentes. Eso es lo que parece que le sucedió a Boscovich.

En 1756 abandonará Roma en misión diplomática a la Toscana. De ahí viajará a Viena, donde trabajará al servicio de la emperatriz María Teresa (1717-1780). Es en este periodo que publica su obra más importante: *Theoria Philosophia Naturalis.* En este libro, que será reeditado cinco veces en vida de Boscovich, se presentan las líneas básicas de su pensamiento en lo que refiere a la naturaleza de la Materia y del espacio.

En los dos capítulos precedentes hemos encontrado a dos gigantes en la historia de la comprensión del mundo material: Descartes y Newton. Las tesis del primero, según el cual el mundo está lleno de Materia y ésta se mueve de manera mecánica por el contacto de unos cuerpos con otros, estaba siendo muy influyente en la Europa continental. Por su lado, la concepción de la materia de Newton, según el cual el espacio está funda-

mentalmente vacío y los cuerpos se mueven por fuerzas de atracción y repulsión, había sido aceptada sólo en Inglaterra. El lento proceso de recepción de la física newtoniana en el continente es un capítulo muy interesante de la historia de la filosofía natural. El mundo de Descartes, lleno de Materia, impedía la llegada de los átomos de Newton. En el continente había que vaciar el espacio para que los átomos pudieran moverse a sus anchas.

Y esto es lo que hizo Boscovich: vaciar el espacio hasta el extremo de que ni siquiera los átomos ocupen espacio. Su idea era la de conseguir un principio único que lo explicara todo en el mundo material, un proyecto que uno de los grandes filósofos del momento, el alemán Gotfried Wilhelm Leibniz, también estaba intentando desarrollar. El principio que Boscovich sugirió es el siguiente: el mundo está formado por átomos puntuales, y todos los fenómenos de la naturaleza son una consecuencia de la distribución espacial y desplazamientos relativos de estas partículas puntuales idénticas que interaccionan entre sí bajo una ley oscilatoria que determina sus aceleraciones relativas.

La física de Boscovich está muy influida por sus ideas matemáticas. Igual que los números pueden ser representados como puntos en una línea, Boscovich piensa los átomos como si fueran puntos en el espacio. Con ello los átomos pierden sus dimensiones: ya no son como bolas de billar, sino que son puntos sin dimensiones. El espacio es el lugar donde se transmite la interacción entre átomos. Es un espacio vacío pero activo. Vacío porque no hay Materia; activo porque es el sustrato en el que se dan las fuerzas que modifican el comportamiento de los átomos. Lo que Boscovich estaba haciendo era dotar de estructura el espacio vacío. Así, muchos ven en Boscovich el precursor del concepto físico de campo.

En Descartes, la acción entre cuerpos se debía a la existencia de Materia que transmitía las fuerzas por contacto. En Newton, el espacio estaba vacío y las interacciones entre corpúsculos se transmitían a distancia. Boscovich introduce una tercera vía: la del espacio vacío pero activo. ¿Qué elementos tenía Boscovich para proponer esta teoría? Ningún experimento había demostrado que el espacio fuese activo, y mucho menos que los átomos fueran puntos. Se trataba, como tantas otras veces en la historia de la ciencia, de una especulación, de un modelo, de una intuición. En el siglo XIX esta teoría sería utilizada y desarrollada para entender no sólo la

gravedad, sino, sobre todo, las fuerzas electromagnéticas. Faraday (1791-1867) y Maxwell (1831-1879), los grandes nombres del electromagnetismo del siglo XIX, fueron parcialmente herederos de Boscovich.

¿Por qué los átomos de Boscovich debían ser puntuales? Su argumento es muy interesante y recuerda al antiguo problema, que ya tenían los griegos, de establecer algo estable en el constante fluir del mundo. Siguiendo el ideal de Galileo, Descartes y Newton, Boscovich también creía que tal solución debía venir de manos de las matemáticas. Por un lado, el mundo debía ser, en el fondo, simple; y por otro lado, debía tener una explicación matemática. De ahí que Boscovich decidiera que el mundo debía poder ser explicado a partir del elemento matemático más simple: el punto. Los átomos eran, en el fondo, puntos, porque los puntos son el elemento más simple.

Los tiempos estaban cambiando para los jesuitas. La excesiva influencia que ejercían sobre la alta sociedad de la mayoría de países europeos fue alimentando envidias y recelos. La oposición a la Compañía iba en aumento en muchos lugares, hasta que en 1758 fueron expulsados de Portugal, acusados de haber promovido una revuelta contra el rey en Paraguay. Boscovich empezó a sentir el clima anti-jesuítico que crecía por toda Europa en sus viajes por toda Italia y Francia en misiones diplomáticas. En París, donde los librepensadores y la masonería se habían establecido con fuerza, los jesuitas eran el blanco de todas las burlas, acusándolos de reaccionarios, conspiradores y enemigos de la ciencia. Boscovich, como científico y jesuita, sintió sobre sus espaldas la obligación moral de defender a la Compañía, a pesar de su descontento con algunas prácticas de la institución.

Entre 1760 y 1763 Boscovich realizó una gira por toda Europa en misiones diplomáticas por encargo del General de los Jesuitas. Pasó siete meses en Londres, donde fue elegido como miembro de la Royal Society. Después, con la idea de ir a Constantinopla a ver el tránsito de Venus, uno de los acontecimientos celestes más esperados por astrónomos de todos los tiempos, Boscovich viajó por Holanda, Alemania, Polonia, Austria, Hungría, Venecia… hasta volver a Roma, tras más de seis años de ausencia. Por dondequiera que pasara, Boscovich era recibido con lo honores de gran científico y hombre de Estado.

En Roma Boscovich ya no era catedrático del Colegio Romano, con lo que pronto aceptó la oferta de ser profesor de matemáticas en la universidad de Pavia. Se dedicó en cuerpo y alma a sus tareas como catedrático, y

en los veranos colaboraba en el colegio jesuita de Brera, cerca de Milán. Allí recibió el encargo de asesorar en la construcción de un observatorio astronómico, lo cual hizo con gran entusiasmo. Era un modo de contribuir positivamente a la reforma de la educación en los colegios jesuitas, dando más peso a las ciencias naturales y a la matemática, tal como llevaba años reivindicando.

Boscovich llegó a dimitir de su cátedra en Pavia para dirigir el observatorio de Brera. Pero el nuevo rector del colegio no era partidario del giro científico que el colegio había experimentado, y emprendió una campaña de difamación contra Boscovich, con lo que éste acabó por abandonar el observatorio. A estas alturas pensó en regresar a su Dubrovnik natal, donde su madre y una hermana todavía vivían, y por la que tantas misiones diplomáticas había emprendido en sus viajes por Europa. Pero los tiempos para la Compañía no eran favorables a este viaje.

La presión sobre los jesuitas había seguido creciendo. En 1767 fueron expulsados de España y de Nápoles; en 1768 de Parma y de Malta. Mientras, se acumulaban las peticiones al Papa para que pusiera fin a los jesuitas en todo el mundo. Finalmente, con fecha 21 de junio de 1773, el recién elegido Papa Clemente XIV firmó el documento conocido como *Dominus ac Redemptor* por el que disolvía la Compañía de Jesús. El Papa fundaba su decisión en la permanente injerencia de la orden en asuntos políticos, en los enfrentamientos con obispos y superiores de otras órdenes religiosas, e incluso en ser la causa de la persecución que la Iglesia Católica sufría en muchos países. El resultado de tal disolución fue que todos los colegios, seminarios e instituciones académicas de los jesuitas desaparecieron o cambiaron de manos.

Ante tal evento, cada jesuita tuvo que afrontar la redefinición de su propio *status* en la sociedad y en la Iglesia. Boscovich tenía 62 años y ningún lugar estable al que dirigirse. Ahora sí era posible trasladarse a Dubrovnik, pero también le llegaron otras ofertas. La universidad de Pisa creó una cátedra especialmente para él, y sus amigos de París le urgieron a que se trasladara a esa ciudad, donde no le faltaría el reconocimiento adecuado a su labor científica. Finalmente, decidió volver a la capital francesa, donde el rey Luis XV creó un cargo especialmente para él: director de óptica naval en la armada francesa.

Estuvo en París casi nueve años, desde 1773 hasta 1782, años decisivos en la historia de Francia. El proyecto enciclopédico de D'Alembert (1717-

1783) y Diderot (1713-1784) estaba llegando a su fin. En 1780 se publicó el último de los volúmenes de la Enciclopedia, obra que simboliza la quintaesencia de la Ilustración: fe en el progreso, culto a la diosa razón, materialismo y un ataque frontal a todas las instituciones tradicionales. Se estaba gestando la Revolución de 1789.

Boscovich siguió con sus intereses científicos, pero se sentía cada vez más desplazado por una generación que sólo quería construir una dura oposición entre ciencia racional y fe religiosa. Todo el proyecto científico de Boscovich había querido enfatizar lo contrario; la armonía entre ciencia y fe. Su carácter se fue agriando, sus discusiones eran cada vez más encendidas. Los que le conocieron en este tiempo lo recuerdan como alguien que perdía los estribos con facilidad. Se enfrentó a D'Alembert por sus visiones acerca de la forma de la Tierra; se peleó con Laplace (1749-1827) por sus discrepancias en el método para determinar las trayectorias de los proyectiles.

En 1782 abandonó París para regresar a Italia. Sus últimos años fueron frenéticos. Por un lado, la obsesión por terminar de editar todas sus obras, con todo el trabajo que esto supone. Por otro lado, su salud mental fue deteriorándose a gran velocidad. Una arteroesclerosis le llevó casi a la locura. No podía concentrarse en su trabajo, y empezó a tener ataques obsesivos: sobre su fama, sobre su salud y manía persecutoria. Boscovich murió en Milán el 13 de febrero de 1787.

BIBLIOGRAFÍA

BALDINI, U.: «Boscovich e la tradizione gesuitica in filosofia naturale: continuità e cambiamento», *Nuncius A.* 7, 2, 1992, 3-68.

BOSSI, M. and TUCCI, P.: *Bicentennial commemoration of R.G. Boscovich,* Edizioni Unicopli, Milano, 1987.

BURSILL-HALL, P. (ed.): *R. J. Boscovich. Vita e Attività Scientifica. His Life and Scientific Work,* Treccani, Roma, 1993.

FUERTES, J. F.: «El espacio y el tiempo en la "Teoría de la filosofía natural" de Roger Boscovich», *Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura,* 156, 1997, 57-76.

FUERTES, J. F.: «Roger Boscovich y su tiempo», *Llull,* 18, 1995, 67-92.

WHYTE, LANCELOT LAW: *Roger Joseph Boscovich, S. J.,* Fordham Press, New York, 1961.



JOHN DALTON
LA IMPORTANCIA DE LA BALANZA

CHIMENEAS. ÉSA ES quizás la imagen más clara de la Revolución Industrial. Los campanarios de las iglesias ven cómo la proliferación de chimeneas les está quitando el protagonismo que antaño tenían como únicos habitantes de las alturas. Los campanarios emiten el repique de campanas, las chimeneas, humo. La máquina de vapor está revolucionando no sólo el paisaje, sino también la economía, la política y la organización social. La producción de bienes se ha acelerado, el comercio se multiplica y la gente abandona el campo para poblar las ciudades. Está naciendo un nuevo mundo, el mundo industrial. Y la región de Lancashire, en el noroeste de Inglaterra, es como la prueba piloto de ese nuevo mundo. El triángulo formado por Manchester, Liverpool y Bradford se convierte en un gran experimento industrial, económico y social.

Y de la mano de la Revolución Industrial vino otra Revolución: la aparición del científico. Todos los personajes que hemos conocido hasta ahora eran y se consideraban a sí mismos filósofos naturales. Su interés primordial era el de comprender la naturaleza y entender sus cambios. Se trataba de un ejercicio principalmente intelectual y unitario. A pesar del llamamiento de Francis Bacon, a principios del siglo XVII, a conocer el mundo con deseos de dominarlo, la filosofía natural seguía teniendo un carácter especulativo. Se trataba, en primera instancia, de comprender el mundo en su totalidad, en su unidad. Tanto la tradición filosófica como la tradición alquimista coincidían en querer disponer de una representación unitaria del mundo. En esta *biografía de la materia,* podemos considerar a John Dalton como uno de los primeros *científicos* que basan sus

teorías de la materia en mediciones precisas. La balanza se convierte en el símbolo de la nueva ciencia de la materia.

Dalton nació en Eaglesfield, noroeste de Inglaterra, el 6 de septiembre de 1766. Su padre era tejedor y pertenecía a la última generación de tejedores artesanales que iba a desaparecer con la industrialización de la zona. La familia vivía sencillamente, no sólo por la falta de recursos económicos, sino también en coherencia con sus creencias religiosas. Se trataba de una familia de cuákeros, movimiento religioso nacido en Inglaterra en el siglo XVII que promovía un culto a Dios sencillo, sin iglesias ni sacramentos, sin jerarquía ni ritos, y entre cuyos valores principales estaba la sencillez, la igualdad y la integridad. Esta influencia marcará el carácter de Dalton, que, a pesar del reconocimiento social que tuvo los últimos años de su vida, tendía a eludir los honores y las alabanzas.

Entre los cuákeros la educación jugaba un papel importante. Dalton fue enviado a la escuela primaria Pardshaw Hall, a unos tres kilómetros de la casa. Allí recibió una educación moderna: sin mucho latín y con muchas matemáticas e historia natural (lo que hoy llamaríamos ciencias naturales). A los 12 años empezó a enseñar a leer y a escribir a otros niños y niñas, con lo que colaboraba en las finanzas familiares, a la vez que trabajaba en el campo.

En 1781, a la edad de 15 años, Dalton abandonó su pueblo natal para dirigirse a la pequeña ciudad de Kendal, en la misma comarca de Cumbria, donde su hermano y su primo llevaban una escuela para cuákeros. Allí Dalton se convirtió en un autodidacta de las ciencias. Se interesó por las cuestiones matemáticas candentes, por la meteorología, por la química y por la botánica. Un instrumento que utilizó para espolear su formación fueron las revistas populares con contenido científico.

La Revolución Industrial estaba creando una nueva clase media, burguesa, acomodada, y con tiempo para el ocio. Con la aparición de la nueva clase social aumentó la educación media en el país y la voluntad de emular los gustos e intereses de la aristocracia. La prensa escrita semanal o mensual vino a llenar la necesidad de cultura, dando contenido científico a los tiempos de ocio. Se estaba creando, así, un elemento muy característico de la clase educada británica del siglo XIX: su pasión por la ciencia *amateur*. En Kendal, Dalton tenía acceso a la revista *Gentelmen's Diary*, en la que se proponían cuestiones científicas y matemáticas que los lectores podían intentar

resolver y participar, así, en algo parecido a un concurso. Dalton fue desarrollando su conocimiento científico a remolque de este tipo de revistas.

Uno de los temas recurrentes en los que Dalton parecía especialmente interesado era la meteorología. Nada de extrañar si consideramos el mal tiempo habitual en el noroeste de Inglaterra. Y la meteorología fue el tema de su primera obra, un librito sobre *Observaciones Meteorológicas* que publicó en 1793 y que pone de relieve su destreza en la observación precisa y numérica de los fenómenos atmosféricos. Dalton, como tantos naturalistas *amateurs* de su época, se convirtió en un experto en el manejo de barómetros y termómetros. Junto con su destreza práctica, esta obra también muestra su conocimiento de las disputas acerca de la naturaleza del calor, de vital importancia para el desarrollo posterior de una teoría de la materia.

¿Qué es el calor? Los filósofos naturales anteriores a Newton pensaban que el calor era una especie de sustancia etérea que se mezclaba con la materia y cuya consecuencia más inmediata era la sensación de frío o calor. La mentalidad mecanicista de los siglos XVII y XVIII había introducido un nuevo modo de comprender el calor: éste sería no tanto una sustancia en sí misma, sino una propiedad de la materia relacionada, quizás, con algún movimiento vibratorio interno de los átomos. La tradición alquímica optaba mayoritariamente por la primera explicación, mientras los filósofos naturales empezaban a decantarse por la segunda. A estas alturas de su carrera, Dalton se limita a describirlas sin optar por ninguna de ellas.

Otro tema que trata con cierto detalle es el de la composición atmosférica. A finales del siglo XVIII se estaba dando un cambio radical en la comprensión del aire. El inglés Joseph Priestley (1733-1804) y el francés Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) estaban desarrollando una nueva teoría del aire que llevaría a la formulación del oxígeno como elemento químico. Clásicamente se suponía que los cuerpos que ardían lo hacían gracias a una sustancia imponderable (fuego, azufre o flogisto, según los tiempos) que se liberaba en la combustión. Cuanto más flogisto tenía el aire menos respirable era. Los trabajos de Priestley y Lavoisier pusieron en evidencia que el aumento de flogisto iba acompañado de una disminución del peso, lo cual hacía del flogisto una sustancia de masa negativa. Para evitar esta contradicción Lavoisier postuló la existencia del oxígeno, una sustancia presente en el aire, que ayuda a la combustión y que es necesa-

ria para la oxidación. Dalton había leído los trabajos de Priestley, pero todavía no conocía la propuesta de Lavoisier cuando escribió sus *Observaciones Meteorológicas.*

También en su época de Kendal se convirtió en un buen *amateur* en la colección de especies vegetales, que prensaba y secaba para ser expuestas al público. Pero, en Kendal, Dalton no podía aspirar a nada más que a un contacto *amateur* y algo ingenuo con las ciencias naturales. Además, sus ingresos como maestro de escuela eran muy limitados, con lo que empezó a pensar en trasladarse a Edimburgo para estudiar medicina. Pero sin dinero ese plan era totalmente imposible, y sus amigos y parientes le desanimaron a hacerlo. En 1793 consiguió, gracias a su amistad con el filósofo John Gough, que le nombraran profesor de matemáticas y filosofía natural en la Academia de Manchester, lo cual le permitió integrarse en los círculos intelectuales de la ciudad en la que permanecería el resto de su vida.

La Academia de Manchester se había fundado unos pocos años antes, en 1786, para dar educación media y superior a inconformistas religiosos. Presbiterianos, cuákeros, y otros movimientos cristianos separados de la Iglesia Anglicana tenían vetado el acceso a las universidades de Oxford y Cambridge, con lo que empezaron a formarse centros académicos alternativos. Estas instituciones tenían la ventaja de ser nuevas, con lo que no tenían el peso de siglos de tradición sobre ellas, y además no estaban sometidas a la autoridad de ninguna jerarquía eclesiástica. Esto facilitó que en estos centros alternativos se desarrollara la investigación en teología y en filosofía natural con una libertad de espíritu inexistente en las universidades tradicionales. Cabe subrayar que, salvo excepciones como la de Newton, en el siglo XVIII y principios del XIX la ciencia inglesa se desarrolló al margen de las dos universidades del país.

Otra institución determinante para la vida de la ciudad de Manchester y para Dalton es la Literary and Philosophical Society. Emulando las sociedades científicas de los grandes centros culturales de la Ilustración, la burguesía de Manchester decidió establecer su propia sociedad como foro cultural de la ciudad. Allí se discutían las últimas novedades en filosofía natural y en matemáticas que llegaban de otros centros, se invitaba a conferenciantes de otros lugares, principalmente Edimburgo y Londres, y se leían trabajos desarrollados por los intelectuales locales.

A las pocas semanas de llegar a Manchester, Dalton presentó un trabajo en la Literary and Philosophical Society que nada tenía que ver con sus estudios meteorológicos. Se trataba de una anomalía en la percepción de la luz por parte del ojo humano, desconocida hasta entonces. Dalton había observado que su percepción de los colores era significativamente distinta a la de la mayoría de la gente. Por ejemplo, mientras la mayoría consideraba el rosa y el rojo como colores cercanos, Dalton creía que el rosa era naturalmente próximo al azul. Ésta y otras muchas confusiones con la percepción del color le llevaron a formular la existencia de una anomalía en la visión, y a intentar explicar la causa de esta anomalía. Es el nacimiento de lo que hoy conocemos como daltonismo, en honor de la primera persona que da cuenta de ello en círculos científicos.

Dalton no volvió a hablar de este defecto en la visión y se volvió a centrar en asuntos relacionados con la meteorología y la composición del aire. Acostumbrado a las nieblas y lluvias inglesas, no es de extrañar que Dalton se interesara por asuntos como la condensación del vapor de agua, la concentración de agua en la atmósfera, la influencia de la presión atmosférica y la temperatura en la humedad relativa del aire, etc. Entre 1799 y 1805 Dalton presentará una serie de trabajos relacionados con estos temas que sientan las bases de su atomismo. La teoría de la materia de Dalton nace no de mirar a los sólidos, sino a los líquidos y gases.

El estudio de los líquidos y gases se convierte en el tema central de sus investigaciones, dando por supuesto que la diferencia entre ambos estados de la materia es meramente cualitativa; es decir, que, en sus propiedades, líquidos y gases se comportan de manera similar: ambos son fluidos. Una de las primeras propiedades que Dalton enunciará es que la presión y la temperatura de un fluido son directamente proporcionales: a más temperatura, más presión. Además, el proceso de evaporación está relacionado con la presión que ejercen mutuamente el gas y el líquido. Durante muchos años se había creído que la evaporación de un gas era similar a la disolución de un sólido en un líquido; pero el comportamiento de los líquidos en el vacío, donde igualmente se evaporan, había puesto en entredicho la teoría.

Al estudiar la evaporación, Dalton se inicia en otro tema: el de la composición del aire. Durante siglos se había considerado que el aire atmosférico era el único gas puro. Siguiendo la antigua teoría, el aire atmosférico era uno de los cuatro elementos básicos del mundo. Lavoisier había mos-

trado que, en realidad, el aire era un compuesto de, al menos, dos elementos. Pero quedaba por investigar el modo como los diversos gases se mezclaban. Una opción era la reacción química; es decir, suponer que el aire era una sustancia fruto de la reacción de los gases que lo componían. Pero Dalton desestimó esta opción. Sus observaciones meteorológicas le habían convencido de que los gases se mezclaban sin perder su identidad.

Con esta idea en mente Dalton realizó mediciones en la presión de los gases compuestos por distintas sustancias, y llegó a la conclusión de que la presión ejercida por un determinado volumen de un gas es independiente de qué otros gases hay en el mismo volumen. Dicho de otro modo: la presión que ejerce un gas compuesto es la suma de las presiones parciales de cada uno de los componentes. Así, por ejemplo, usando terminología moderna, la presión total del aire atmosférico es la suma de las presiones que ejercerían por separado el oxígeno, el nitrógeno y el resto de gases que componen la atmósfera. El hecho de que los gases estén juntos no afecta a la presión que ejerce cada uno de ellos. A esto se le llama la ley de presiones parciales.

Mientras realizaba estos trabajos Dalton seguía con sus clases en la Academia de Manchester, a la vez que, desde 1800, desempeñaba su cargo como secretario de la Literary and Philosophical Society. En 1803 la Academia decidió trasladar sus instalaciones a York, y Dalton tuvo que optar entre trasladarse a esa ciudad o perder el empleo. Decidió quedarse en Manchester y establecerse como profesor por cuenta propia. Sus clases particulares, sus conferencias públicas en Manchester y, ocasionalmente, en Londres, le permitían tener suficientes ingresos para llevar la vida austera propia de su educación como cuákero.

La balanza, que tan importante había sido en los trabajos de Priestley y Lavoisier, también fue determinante para Dalton. Entre 1800 y 1808 llevó a cabo medidas precisas y sistemáticas sobre algunas reacciones químicas y, con ellas, pudo formular la ley experimental de las proporciones múltiples. A veces dos elementos reaccionan entre sí de diversos modos para dar lugar a compuestos distintos. Es el caso, por ejemplo, del oxígeno y el carbono que pueden formar monóxido de carbono (CO) o dióxido de carbono (CO_2). Los pesos de oxígeno que reaccionan con un peso fijo de carbono guardan entre sí una relación numérica simple, en este caso de 2 a 1. Por cada cien gramos de carbono se necesitan 133 de oxí-

geno para formar CO y 266 para formar CO_2. Una relación simple, que sólo es posible determinar cuando se dispone de instrumentos de medición precisos.

No es de extrañar que la determinación precisa de las masas involucradas en reacciones químicas ocurriera a la par que la Revolución Industrial. El auge de la producción en fábricas fue posible no sólo gracias al desarrollo de la máquina de vapor, sino también a la precisión en la medida de los materiales a utilizar. En industrias como la de los colorantes textiles, por ejemplo, era esencial pesar con precisión las cantidades de materias primas que se necesitaban. Un mal cálculo podía tener consecuencias dramáticas para los fabricantes: o bien no se obtenía el producto deseado, con la consiguiente pérdida de valor comercial de lo fabricado, o se utilizaban materias primas en exceso, lo cual representaba un aumento del coste. En la Revolución Industrial medir con precisión era crucial: la precisión en la balanza y el beneficio económico eran dos caras de la misma moneda.

Que la materia estaba compuesta por átomos era una creencia habitual basada en la autoridad de Newton. Pero, ¿cómo eran esos átomos? La aportación de Dalton en la *biografía de la materia* fue establecer una teoría atómica compatible con sus observaciones en gases y en reacciones químicas. La ley de proporciones múltiples parecía indicar que los átomos de una determinada sustancia se distinguían de otros átomos por su masa. Se podía imaginar que cada elemento químico se caracterizaba por el peso de sus átomos.

Dalton, además, alejado de las especulaciones matemáticas de Boscovich, creía que los átomos eran esferas sólidas acompañadas de una atmósfera de calor. Basado en su ley de presiones parciales se aventuró a sugerir que, además del peso, el tamaño era otra característica de los átomos. Sus observaciones de las mezclas de gases le habían llevado a la conclusión de que, al mezclarse, los distintos gases mantenían una cierta independencia entre sí, lo cual explicaba que la contribución de cada gas a la presión total era independiente del resto de gases mezclados. Esto le llevó a imaginar que la causa de tal independencia era el distinto volumen de los átomos que componían los gases. Los átomos llegaban a un equilibrio con los otros átomos de su tamaño, equilibrio que no era posible con los otros tipos de átomos. Así, a pesar de estar mezclados, los átomos sólo llegaban al equilibrio con los de su tipo.

La teoría atómica de Dalton introducía un elemento nuevo en la larga historia del atomismo: la idea de que la masa es una de las características fundamentales de los átomos. A partir de 1805 Dalton empezó a explicar su teoría en la Literary and Philosophical Society y en otros foros, como las universidades de Glasgow y Edimburgo. Como herramienta pedagógica dibujó una tabla donde los átomos de los diversos elementos eran representados como esferas con estructuras distintas y ordenados en función de su masa. Un número, la masa, resultado de la medición con balanzas, se convertía, por primera vez, en el criterio para ordenar las sustancias químicas.

El trabajo de Dalton en este periodo fue suficientemente relevante como para que la Literary and Philosophical Society decidiera dejarle una habitación para que la utilizara como laboratorio. A partir de allí siempre vivió cerca de la sede de la Sociedad y su vida se centró en su trabajo científico y en sus clases particulares. La investigación científica era, a principios del siglo XIX, una actividad *amateur,* sin reconocimiento económico, con lo que Dalton tenía que vivir de su trabajo como maestro. Su formación autodidacta nunca le iba a permitir acceder a ninguno de los centros académicos de Escocia o de Londres.

En 1817 fue nombrado presidente de *Literary and Philosophical Society.* Este puesto era un gran honor dentro de la ciudad de Manchester, pero tenía poco impacto en el resto del país. Manchester era todavía, en lo intelectual, un lugar de provincias, un lugar periférico, al que no valía la pena prestar mucha atención. De ahí que Dalton recibiera poco reconocimiento por su trabajo. En Francia su trabajo sí fue reconocido y, en 1817, fue nombrado miembro de la Academia de París. Sólo después fue nombrado también *fellow* de la Royal Society de Londres.

Desde el punto de vista institucional, la investigación científica estaba mucho más desarrollada en Francia que en Inglaterra. Cambridge y Oxford eran tremendamente conservadoras y reacias a introducir cambios que, desde su perspectiva, eran la semilla de la inestabilidad política. Desde Inglaterra se veía la revolución francesa y el posterior imperio de Napoleón como la culminación de una época en la que las nuevas ideas habían sido aceptadas sin ningún reparo. Inglaterra debía, por tanto, poner coto a las nuevas ideas científicas. Sólo así evitaría hecatombes como la ocurrida en Francia.

Por su lado, la Royal Society había perdido la frescura del siglo XVI y XVII y se había convertido en el feudo de aristócratas con pretensiones científicas. Bajo la dirección de Joseph Banks (1743-1820) entre 1778 y 1820 la Royal Society se había convertido en una triste caricatura de sus ideales iniciales. Industriales burgueses y aristócratas progresistas se vieron en la necesidad de impulsar centros científicos alternativos: en esta época nace la Royal Institution de Londres para dar asesoramiento científico-técnico a la agricultura, la minería y otras industrias, y se funda la universidad de Londres abierta a personas de todas las religiones, y no sólo a los miembros de la Iglesia de Inglaterra.

A medida que se aceptaba la importancia y utilidad de su teoría atómica, Dalton empezó a recibir honores. Algunas universidades le confirieron títulos honoríficos; el rey Jorge (1760-1820) le concedió una medalla en reconocimiento a su trabajo científico; otras sociedades extranjeras lo nombraron miembro de honor. Finalmente, en 1833, cuando Dalton tenía 67 años, se le concedió una pensión vitalicia. Pero nada de todo esto cambió sus hábitos de vida. Su sencillez y su vida austera fueron una constante. Nunca se casó, y no solía vérsele en las fiestas burguesas de la alta sociedad de Manchester.

Dalton apareció en Manchester en el momento oportuno. La ciudad estaba progresando a un ritmo frenético, pero cabía el peligro de que ese progreso se limitara al ámbito industrial. La burguesía necesitaba artistas, filósofos y científicos con los que poder compararse con los centros aristocráticos tradicionales del país. Y la figura de Dalton cumplió esa misión. Todavía en vida se erigió un monumento en su honor, para celebrar las glorias científicas de un hijo de la ciudad. Era un modo, no sólo de honrar a Dalton, sino sobre todo de poner a Manchester en el mapa científico, y de demostrar que el desarrollo económico implicaba desarrollo científico.

El 27 de julio de 1844 Dalton moría en su casa de Manchester. Por deseo propio se realizó una autopsia minuciosa que incluía el análisis de sus ojos y así contrastar su teoría sobre las causas del daltonismo. Su funeral fue un acontecimiento público de dimensiones inauditas para este hombre de vida sencilla. Unas 40.000 personas abarrotaron las calles de la ciudad de las chimeneas para honrar al hombre que habían convertido en símbolo de la ciudad.

Bibliografía

Cardwell, D. S. L.: *John Dalton and the Progress of Science,* Manchester University Press, London, 1968.

Greenaway, F.: *John Dalton and the Atom,* Heinemann, London, 1966.

Pellón, I.: *Dalton. El hombre que pesó los átomos,* Nivola, Madrid, 2003.

Rocke, A. J.: *Chemical Atomism in the Nineteenth Century,* Ohio State University Press, Columbus, 1984.

Thackray, A.: *John Dalton; Critical Assessments of his Life and Science,* Harvard University Press, Cambridge, 1972.



MENDELEIEV
PONIENDO ORDEN EN EL CAOS

RUSIA. POSIBLEMENTE el más vasto de los imperios ha sido siempre un misterio para geógrafos y antropólogos. ¿Qué une a la aristocracia de Moscú con los pueblos del Cáucaso, las tribus de Siberia y de Mongolia o los pobladores de las costas del Pacífico? ¿Se trata de un imperio europeo o asiático?, ¿ortodoxo o musulmán?, ¿occidental u oriental? Los grandes escritores del siglo XIX, Tolstoi, Dostoievski, Pushkin, Gogol… nos presentan de forma magistral el gran drama de Rusia: Moscú y San Petersburgo tratando de incorporarse a Europa, pero incapaces de arrastrar consigo las vastas planicies de la estepa, frías y deshabitadas, campesinas e ignorantes. En el siglo XIX Rusia es una gran maquinaria burocrática que intenta poner orden y unificar de algún modo la inabarcable diversidad de sus pueblos.

La química sufrió un proceso similar al de Rusia en el siglo XIX. Con la mejora de la balanza y de otras técnicas de medición, Lavoisier y Dalton, entre otros, habían podido construir una nueva química basada en la masa de las sustancias químicas. La hipótesis atómica, aceptada sólo parcialmente, propició la separación de nuevas sustancias. Entre 1800 y 1850 se aislaron 24 nuevas sustancias: aluminio, calcio, litio, magnesio, potasio, silicio… En 1860, en la ciudad alemana de Karlsruhe, se trató de poner orden al caos originado por la aparición de tantas sustancias nuevas. Además, había que definir con precisión qué era un átomo, qué era un elemento y qué era una sustancia. Como si de un vasto imperio se tratara, la química podía morir de éxito si no organizaba las sustancias de algún modo racional.

Entre los asistentes al congreso de Karlsruhe encontramos al personaje de este capítulo. Un ruso que estaba por entonces estudiando en la uni-

versidad de Heidelberg: Dimitri Ivanovich Mendeleiev. Nacido en la ciudad siberiana de Tobolsk el 8 de febrero de 1834, Mendeleiev era el último de catorce hermanos. Su padre era un funcionario del departamento de educación y profesor de literatura rusa, y su madre era hija de industriales. Ella misma era propietaria de una fábrica de cristal. Esta mezcla de burocracia e industria configuró los intereses intelectuales de Mendeleiev y pueden ser tomados como símbolos de su biografía. Mendeleiev fue, a la vez, químico y burócrata en la maquinaria del Estado, formando parte de una nueva generación de funcionarios-expertos sobre los que se quería edificar la nueva Rusia tras la derrota en la guerra de Crimea, en 1856.

Su madre le dio la formación inicial, y en el *gymnasium* local recibió la educación secundaria de la época. Pero para poder realizar estudios superiores debía trasladarse a Moscú o a San Petersburgo, donde estaban las mejores universidades del imperio. En 1850 su madre intentó que entrara en la universidad de Moscú, la más antigua del país, pero fue rechazado. Tampoco consiguió plaza en la universidad de San Petersburgo, y fue gracias a un favor personal como finalmente le aceptaron en el Instituto Pedagógico de San Petersburgo, donde había estudiado su padre años antes. En los últimos años este instituto se había convertido en una universidad técnica donde la investigación científica tenía un peso considerable.

Tras cursar estudios en física, química y mineralogía, Mendeleiev se graduó en 1855 con las mejores notas. Como estudiante del Instituto Pedagógico su carrera natural era la educación secundaria en alguno de los *gymnasiums* del imperio. Su primer destino fue en Crimea, pero la guerra en esa región había cerrado la escuela. En esta circunstancia Mendeleiev tenía tiempo para seguir sus investigaciones químicas y para escribir sus primeros artículos, tanto académicos como de divulgación. Estos primeros trabajos ya muestran una de las características de Mendeleiev: su interés por la organización del Estado y la influencia de la ciencia y la tecnología en el desarrollo del país, en áreas como la industria agroalimentaria y la minería.

En 1859 se trasladó a Alemania, a Heidelberg, para mejorar sus conocimientos químicos. Allí trabajó en el laboratorio de uno de los grandes químicos del momento, Robert Bunsen (1811-1899). Si Lavoisier y Dalton habían aportado las grandes novedades intelectuales que revolucionaron la química, Alemania había conseguido algo más tangible: la creación

de centros de investigación química que, en estrecha colaboración con intereses industriales, fueron un elemento esencial en el desarrollo económico, tecnológico e industrial del país. La industria química alemana se convirtió en el modelo a imitar por parte de todos los países europeos. Bunsen fue uno de los artífices de esta mezcla de investigación científica e intereses industriales.

Tras dos años en la ciudad alemana, Mendeleiev regresó a San Petersburgo. Sin dinero y sin un puesto de trabajo fijo se dedicó a escribir un libro sobre los fundamentos de la química orgánica. Este trabajo le valió un premio de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, lo cual le dio dinero suficiente para instalarse en la ciudad y casarse con Feozva Lesheva. Pero más que el dinero, esta obra le valió la fama como químico, investigador y pedagogo de las ciencias. No fue, por tanto, difícil conseguir un puesto en la universidad de la ciudad.

La universidad de San Petersburgo estaba siendo la sede de fuertes tensiones entre el gobierno y los estudiantes. En Rusia, la población universitaria aumentó considerablemente cuando ésta se abrió a las clases sociales más bajas. El Estado proporcionaba muchas ayudas para los estudios y, a veces, la total exención de tasas académicas. Pero para muchos esto no era suficiente y la universidad de la capital se convirtió en el centro de revueltas estudiantiles de corte liberal. La entrada de Mendeleiev en la universidad estuvo marcada por estos sucesos. En 1862, año en el que él accedía a su puesto como profesor, la universidad estaba cerrada por orden imperial. No se reabriría hasta el año siguiente.

El congreso de Karslruhe de 1860, el primer encuentro internacional de químicos de la historia, fue de capital importancia para el desarrollo de la química como disciplina científica. La alquimia había sido siempre un saber particular, aprendido de boca a boca en sótanos, buhardillas y otros lugares casi secretos. La caracterización de las sustancias materiales en función de sus propiedades convertía la materia en algo misterioso y oculto, cuyo saber estaba reservado a unos pocos. Con el advenimiento de la balanza de precisión, las sustancias químicas pasaron a ser clasificadas por sus masas, no por sus propiedades. Pero para hablar de masas atómicas era necesario tener una unidad básica (obviamente no el kilogramo) que fuera la misma para todos los laboratorios. Sin ella, la comunicación científica, la comparación de resultados, se hacía imposible. Y esto es lo que se

decidió en Karslruhe: se optó por un sistema de medida en el que el peso atómico del carbono era 12 y el del oxígeno 16.

Determinar las masas atómicas no es un proceso fácil, ya que los átomos no se ven o se pesan individualmente. Dalton había considerado que cada sustancia química estaba compuesta por un tipo particular de átomos, distinto al del resto de sustancias. Si se asignaba, por ejemplo, peso 1 al átomo de hidrógeno, se podía deducir la masa de las otras sustancias a base de medir el peso de los compuestos de hidrógeno con otras sustancias. Así, por ejemplo, si el agua estaba compuesta de hidrógeno y oxígeno, y ésta pesaba ocho veces más que la masa del hidrógeno puro, era lógico suponer que el peso atómico del oxígeno era 8. Dalton aplicaba aquí su principio de máxima simplicidad según el cual los átomos de las sustancias químicas reaccionaban entre sí del modo más simple posible.

El italiano Amadeo de Avogadro (1776-1856) propuso otro método para determinar las masas atómicas, basado en la medida de los volúmenes de los gases que reaccionan. Gay-Lussac (1778-1850) había observado que en las reacciones entre sustancias gaseosas las proporciones de los volúmenes que reaccionaban eran siempre simples: 1 a 1, 2 a 1 o 3 a 1. Por ejemplo, en el caso del agua hacían falta dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno. Avogadro supuso entonces que el número de moléculas en cada volumen de gas era siempre el mismo, independientemente del tipo de gas de que se tratara. Según él, ésta era la única hipótesis consistente con las observaciones de Gay-Lussac. Pero de ser así, la reacción para formar agua ya no era de un átomo de hidrógeno con uno de oxígeno, sino de dos con uno. Esto implicaba una masa del oxígeno cercana a 16, el doble de la propuesta por Dalton.

Un volumen de oxígeno reaccionaba con dos volúmenes de hidrógeno para dar dos volúmenes de agua. Si la hipótesis de Avogadro sobre el igual número de moléculas en iguales volúmenes de gases era correcta, había algo que no cuadraba. Un volumen de oxígeno da lugar a dos volúmenes de agua, con lo que cada molécula de oxigeno daba lugar a dos moléculas de agua. Esto era sólo posible si las moléculas de oxigeno puro estaban compuestas por dos átomos de oxígeno, cada uno de los cuales originaba una molécula de agua. Todo esto es muy obvio hoy en día cuando estamos acostumbrados a hablar del agua como H_2O; pero a principios del siglo XIX esto era una arriesgada especulación.

Las hipótesis de Avogadro no fueron muy aceptadas hasta que Stanislao Cannizzaro (1826-1910) las revivió en el congreso de Karlsruhe. Con ello se pudo defender un nuevo sistema de masas atómicas, a la vez que se introducía la diferencia entre elemento, molécula y átomo. Esta distinción fue crucial para el trabajo de Mendeleiev.

En 1867 Mendeleiev fue nombrado catedrático de química en la universidad de San Petersburgo. Entre sus tareas se contaba la de dar las clases generales de química inorgánica a los primeros cursos. Para estos cursos, Mendeleiev se encontró con que no había ningún libro en ruso que cubriera las novedades que el congreso de Karlsruhe había introducido, con lo que se decidió a escribir su propio tratado de química. Escribir un libro de química a mitad del siglo XIX no era tarea fácil. Se conocían 63 elementos químicos y era necesario encontrar algún modo de clasificarlos. Mendeleiev se había formado en la escuela pedagógica y no estaba contento con las clasificaciones habituales en términos de propiedades químicas. En coherencia con los debates del congreso alemán, decidió apostar por una clasificación de los elementos químicos en función de su masa atómica.

El *Tratado de Química* que escribió entre 1868 y 1869, en dos volúmenes, muestra con bastante claridad el desarrollo del pensamiento de Mendeleiev en este tiempo. La clasificación en función de la masa de los elementos era, al principio, sólo un instrumento pedagógico. Pero a medida que fue escribiendo el segundo volumen de su tratado fue viendo que las propiedades de los elementos estaban en estrecha dependencia con el lugar que ocupaban en esta clasificación. La ordenación en orden creciente de las masas también revelaba un determinado patrón en el que las propiedades químicas se repetían. Si el orden horizontal expresaba el incremento en masa, el orden vertical manifestaba propiedades químicas esenciales.

Hoy en día la *tabla periódica de los elementos* está presente en todas las aulas de química, laboratorios, libros de educación secundaria… Esa ordenación de símbolos en filas y columnas da, a primera vista, mucha información sobre las propiedades químicas de los elementos. Sólo sabiendo en qué lugar de la tabla está una determinada sustancia sabemos si se trata de una sustancia metálica, de un gas noble, de una sustancia alcalina, etc. Quien haya estudiado química sabe además que la posición del elemento en la tabla también nos da información sobre la distribución de los electrones en la periferia de los átomos. Lógicamente, a mitad del siglo XIX esta información era imposible, pues los átomos, si existían, eran total-

mente simples, sin estructura. La tabla periódica es, posiblemente, el invento pedagógico más útil, más conciso y más lleno de contenido de la historia de la ciencia.

¿Cuál era la actitud de Mendeleiev respecto a la existencia de los átomos? Como la mayoría de los químicos de su época, Mendeleiev aceptaba el nombre de átomo, pero desconfiaba de la realidad física de éstos como partículas discretas de materia. En realidad, cuando un químico hablaba de átomos simplemente se refería al hecho de que las sustancias reaccionaban entre sí en proporciones discretas. Un átomo de oxígeno o de hidrógeno era, para Mendeleiev, simplemente una cantidad mínima de esa sustancia, y no necesariamente la mínima estructura física de las sustancias químicas. No deja de ser una ironía que la clasificación de las sustancias que llevó a cabo Mendeleiev y que tanto influyó en la aceptación de la realidad de los átomos se desarrolló en un contexto de escepticismo respecto a su existencia real.

Mendeleiev se convirtió en catedrático, pero su vida no se circunscribió al mundo universitario. Un país en permanente reforma, Rusia estaba intentando reorganizar sus territorios, su industria y su agricultura para emular el desarrollo de las potencias de occidente. De los profesores universitarios, como funcionarios del Estado que eran, se esperaba su colaboración en esta tarea a base de implicarse activamente en asesorar al gobierno y a la industria. Mendeleiev asumió esta responsabilidad con mucho gusto hasta el punto de que su biografía y la de Rusia corren en paralelo.

En la década de 1870 Mendeleiev participó activamente en un experimento social de reorganización de la ciencia. Durante el siglo XIX los países más desarrollados habían asistido a un gran cambio en el rol del científico y en su modo de trabajar. El filósofo natural o el alquimista trabajando en pequeños laboratorios, casi en total aislamiento intentando entender los misterios del cosmos, dio paso al científico que trabaja en grandes organizaciones, en dependencia con las necesidades del Estado y de la industria. La Sociedad Técnica de Rusia decidió emprender un experimento de reorganización social del trabajo de los científicos siguiendo el mismo patrón que organizaba la producción en las fábricas: la división del trabajo y la comunicación entre los diversos departamentos.

Junto con la organización, otra necesidad de la ciencia rusa era la comunicación con el exterior. Su experiencia como joven estudiante en el

congreso de Karlsruhe le había mostrado la necesidad de unidad y de comunicación entre científicos de distintos países. Del mismo modo que el congreso alemán había puesto de relieve la necesidad de unificar las unidades de medida a nivel atómico, Mendeleiev creía que era imprescindible adoptar el sistema métrico internacional en la ciencia y la técnica rusas. Para ello realizó algunos viajes a París, donde se guardaban los estándares de metro y kilo. La importancia de unificar estándares trasciende la mera comunicación científica. Un mismo estándar de medida no sólo da unidad a la ciencia, sino que también tiene implicaciones comerciales. Los productos fabricados en un determinado país se pueden exportar a otros países. La unidad de estándares métricos que Mendeleiev promovió en Rusia también aspiraba a dilatar el mercado para los productos autóctonos.

Desde el punto de vista científico, el proyecto de Mendeleiev en la década de 1870 se centró en el estudio de los gases. Ahí se concretó su interés por la meteorología, por las medidas precisas y por los intereses comerciales de Rusia. La meteorología era vital para la navegación comercial y para la producción agrícola. La medida precisa de las variables meteorológicas era una encarnación de la nueva ciencia. Mendeleiev desarrolló un nuevo tipo de barómetro, muy preciso, que presentó en la feria internacional de Philadelphia en 1876. Instalar ese barómetro en todos los observatorios de Rusia era un modo de dar unidad a los vastos territorios del zar.

En las últimas décadas del siglo XIX toda Europa se vio hechizada por un fenómeno antiguo y nuevo a la vez: el espiritualismo. Procedente de Estados Unidos, la nueva ola espiritualista afectó principalmente a Inglaterra y a Rusia. En este último país, por ejemplo, el espiritualismo llegaría a desempeñar un papel importante dentro de la familia imperial: según algunos historiadores, Rasputín (1869-1916), ese personaje misterioso y carismático a la vez, tuvo un papel central en la caída del último zar de Rusia, Nicolas II (1868-1918). Emperadores, príncipes, nobles e intelectuales fueron las principales víctimas de esta nueva corriente pseudorreligiosa. Las sesiones de espiritismo pasaron a formar parte del entretenimiento de una aristocracia aburrida y distante de los problemas reales de la sociedad.

Entre algunos círculos académicos, el espiritualismo fue recibido como un nuevo fenómeno digno de estudio científico. En una época donde el estudio de la electricidad era la gran novedad científica, no era

extraño ver todo tipo de aparatos eléctricos y magnéticos distribuidos por las habitaciones donde los *mediums* llevaban a cabo sus conexiones con el más allá. No fue el caso, sin embargo, de Mendeleiev, quien veía con malos ojos toda la moda espiritualista. Su respuesta fue la de organizar una comisión de la Academia de Física para demostrar la ausencia de base empírica de los pretendidos fenómenos espiritualistas. Participó en todo tipo de sesiones sólo para demostrar que los supuestos efectos no existían. Las levitaciones, las apariciones y las voces simplemente no se daban, con lo cual no había nada que estudiar. Mendeleiev había basado su teoría química en la medida de las masas, había introducido el nuevo sistema de medición en Rusia y había promovido una red de estaciones meteorológicas a nivel imperial para medir las variables atmosféricas. Era evidente que, para alguien así, lo que no se pudiese medir simplemente no existía.

En 1882, tras varios años de romance, Mendeleiev se casó por segunda vez. El primer matrimonio había terminado en divorcio. Tras la luna de miel del segundo matrimonio, Mendeleiev decidió reformar otra institución, en este caso la Academia Imperial de Ciencias, para hacerla más útil al servicio de los intereses de la sociedad, y ponerla al nivel de las grandes academias europeas. Las ideas madre de su proyecto de reforma consistían en convertir la Academia en una institución de ámbito imperial, con proyectos en todo el territorio, con una organización del trabajo parecido a la organización en las industrias, con financiación procedente del Estado y sin ingerencias burocráticas. Para Mendeleiev, la Academia debía dejar de ser un lugar para la curiosidad intelectual y pasar a ser un instrumento crucial en el desarrollo económico de la nación.

En la década de 1880 trabajó en proponer teorías económicas para la mejora de Rusia. Participó directamente en el desarrollo de la industria del petróleo, en nuevas técnicas de extracción de minerales y en la mejora de diversas industrias alimentarias. También en esta década emprendió aventuras arriesgadas como la del ascenso en globo aerostático para observar un eclipse en 1887. Sin embargo, su papel como reformador del Estado, unido a su temperamento irascible, le ganó la animadversión de los sectores más tradicionalistas de San Petersburgo. Se da la ironía que mientras le llovían nombramientos honorarios en muchas instituciones académicas del mundo occidental, la Academia de Ciencias de San Petersburgo no aceptó elegirlo como miembro.

En 1890 Mendeleiev dimitió como catedrático emérito de la universidad de San Petersburgo. La decisión fue un poco histriónica: ante una pequeña revuelta estudiantil, Mendeleiev se alineó con los estudiantes. Esto podía ser considerado una traición al zar, ya que todos los profesores universitarios, por ser funcionarios del Estado, habían jurado lealtad al zar. En consecuencia, Mendeleiev decidió dimitir de su puesto.

Los últimos años del siglo XIX y los primeros del siglo XX fueron una sorpresa para los físicos y químicos. Aparecieron los gases nobles, sustancias químicas que no reaccionan y que pasaron a formar un nuevo grupo en la tabla de los elementos de Mendeleiev. Los rayos X, la radioactividad y el electrón fueron otras tantas novedades que hicieron que la concepción sobre la Materia se tambaleara: los rayos X penetraban los cuerpos de un modo inaudito; la radioactividad hablaba de la transmutación natural de unos elementos en otros (como si el viejo sueño de convertir mercurio en oro fuera ahora una posibilidad); el electrón manifestaba que los átomos tenían una estructura interna y, por lo tanto, no eran tan simples como Dalton los había imaginado.

Mendeleiev murió en 1907 sin aceptar la radioactividad ni el electrón. Su idea de elemento químico no era compatible con la misteriosa transmutación radioactiva y, mucho menos, con la existencia de partículas que no tuvieran un lugar en la tabla periódica, como era el caso del electrón. Era como si la Materia se resignara a ser totalmente ordenada bajo el criterio de Mendeleiev.

BIBLIOGRAFÍA

BENSUADE-VINCENT, B.: «Mendeleyev: The Story of a Discovery», en SERRES, M.: *A History of Scientific Thought. Elements of a History of Science,* Blackwell, Cambridge, 1995, 556-582.

BROOKS, N. M. (ed.): «Mendeleev: Beyond the Periodic Table», *Ambix,* 45, 1998, 49-128.

GORDIN, M. D.: *A Well-Ordered Thing. Dimitrii Mendeleev and the Sahdow of the Periodic Table,* Perseus, New York, 2004.

ROMÁN POLO, P.: *Mendeleiev. El profeta del orden químico,* Nivola, Madrid, 2002.



Ludwig Boltzmann
LOS ÁTOMOS, ¿DE VERDAD EXISTEN?

NOS TRASLADAMOS A otro imperio, al austrohúngaro, uno de los más antiguos y heterogéneos de Europa. En él convivían en aparente armonía pueblos con diversas culturas, lenguas, razas y religiones, gracias al dominio despótico de la casa de los Habsburgo. Sin embargo, los cambios sociales que trajo consigo la revolución industrial en toda Europa también modificaron el funcionamiento de este imperio. En 1848, tras la revolución obrera de París, toda Europa sufrió una ola de protestas contra el poder autocrático. Los Habsburgo, para mantener la unidad de sus territorios, tuvieron que conceder algunos derechos a las distintas minorías de serbios, checos, húngaros y polacos. La aparente unidad del imperio que se percibía desde el exterior escondía, cada vez más, una realidad interior mucho más rica y dinámica, en la que los diversos pueblos velaban por sus propios intereses, cultura y tradiciones. El arte del joven emperador Francisco José (1830-1916), entronizado en 1848, consistió en saber mantener la unidad del imperio a la vez que dispersaba el poder político hacia las distintas regiones, lo cual exigió el establecimiento de una burocracia eficaz y un cuerpo de funcionarios fiel al sistema. Las circunstancias históricas le forzaron a aceptar una noción más heterogénea de unidad.

En este contexto nació y desarrolló su trabajo Ludwig Eduard Boltzmann, el padre de la física estadística, y uno de los grandes defensores de la existencia real de los átomos. De hecho, se puede establecer un paralelismo muy interesante entre la evolución del imperio austrohúngaro en la segunda mitad del siglo XIX y las teorías de Boltzmann. Éstas suponían que las magnitudes macroscópicas observables de los gases, en particular la

temperatura, eran el resultado de los movimientos individuales, aparentemente aleatorios, de los átomos que componían el gas. Internamente el gas estaba compuesto de átomos, cada uno de los cuales actuaba individualmente; pero este aparente caos interno daba lugar a magnitudes externas homogéneas. Igual que en el imperio, donde la aparente unidad cara al exterior escondía numerosos movimientos locales de los pueblos que lo componían.

La biografía de Boltzmann es paradigmática del romanticismo centroeuropeo del siglo XIX. Nacido en Viena en 1844, Boltzmann creció en las ciudades austriacas de Wels y Linz, a donde la familia tuvo que trasladarse siguiendo los destinos de su padre, Lugwig Georg, que era funcionario del estado. En su infancia, Boltzmann no mostró ningún interés particular por las ciencias, y tampoco había en la familia ningún antecedente científico. De hecho, su infancia fue la propia de un chico de clase media en Austria, en la que lo único que destacó fue su afición por la música, y llegó a tocar el piano con bastante destreza. Cuando Boltzmann tenía 15 años, su padre murió de tuberculosis, y al año siguiente su hermano menor también murió, quedándose con su madre y hermana. Ambas muertes cambiaron el carácter de Boltzmann. A partir de entonces solía estar serio y sombrío.

En 1863 se trasladó a Viena para empezar los estudios universitarios. Viena era, en el siglo XIX, una ciudad vibrante y uno de los referentes mundiales para las artes y las ciencias. La arquitectura y las artesanías emergían de la mano de los mecenas de la corte imperial de los Habsburgo. Fue el tiempo del florecimiento de la música y la ópera, con la familia Strauss como máximos representantes. Fue entonces cuando Boltzmann pudo asistir por primera vez a la filarmónica de Viena para escuchar la tercera sinfonía de Beethoven, la *Eroica.* La sociedad vienesa parecía dispuesta a mostrar la paz del imperio llenando teatros y óperas, aparentando una despreocupación absoluta por los cambios políticos y sociales que avanzaban por toda Europa.

Junto a las artes, también se promovían las ciencias, pues se las veía como un pasatiempo intelectual útil para mantener alejadas de la política a las mentes más inquietas. Boltzmann ingresó en el Instituto de Física que, aunque joven, era muy dinámico. Fundado en 1850 por Christian Doppler (1803-1853), su director era Josef Stefan (1825-1893). Éste fue capaz de crear un ambiente de amistad entre los investigadores, profesores

y alumnos del instituto, algo nada habitual en el mundo de habla alemana. Las instalaciones del instituto estaban situadas en el antiguo edificio de la universidad construido cien años antes, y eran del todo insuficientes. Boltzmann, sin embargo, recordaría el ambiente que se creó en aquel edificio, donde la falta de espacio y de medios técnicos era suplida por el entusiasmo y la creatividad de los científicos.

La discusión científica en Viena tenía un tema álgido: hasta qué punto se puede considerar que la teoría atómica es una teoría científica. La pregunta es bastante seria porque, tal como llevamos explicando en este libro, el átomo nunca fue descubierto por nadie; la teoría atómica es una teoría que tiene su valor, sus éxitos y sus verificaciones, muchas de las cuales han surgido con posterioridad a su aceptación por parte de físicos y filósofos. En la segunda mitad del siglo XIX, la discusión en torno a la existencia real de los átomos vivió uno de sus momentos culminantes. En el centro de la polémica, una postura filosófica sobre la naturaleza y método de la ciencia conocida con el nombre de *positivismo.*

¿Qué es el positivismo? El término lo acuñó el filósofo francés Auguste Comte (1798-1857) y su tesis principal es que el método científico y, por extensión, todo conocimiento, está constituido sólo de observaciones empíricas. Puesto en lenguaje popular, es la tesis filosófica que sostiene que «si no lo veo, no lo creo». El positivismo trataba de erradicar toda especulación filosófica y teológica que no correspondiera con los hechos observables. Sólo era real aquello de lo que había evidencia directa a través de los sentidos. El resto había que relegarlo al ámbito de la subjetividad, del relativismo y del sinsentido. Con ello se pretendía entronizar la ciencia como único conocimiento válido que garantizaría la verdad acerca del mundo y el progreso de la humanidad.

Aunque el mito positivista triunfó hasta el extremo de que todavía hoy hay gente que piensa que sólo el conocimiento científico es serio, válido y verdadero, la aplicación de esta perspectiva filosófica habría acabado con el propio progreso científico. La polémica en torno a la existencia de los átomos en el siglo XIX es un buen ejemplo de la sofisticación de la actividad científica y de lo simplista que es considerar que la ciencia está basada sólo en observaciones sensibles.

En los capítulos precedentes hemos visto cómo mientras Dalton y Mendeleiev afrontaron la cuestión de los átomos desde una perspectiva

eminentemente química, los átomos de Newton y Boscovich se planteaban desde una perspectiva mecánica del mundo. Pero el siglo XIX vio emerger con fuerza dos nuevas ciencias: la del calor y la de la electricidad. Ambas estaban relacionadas con la revolución industrial que, desde Manchester, se estaba propagando por todo el mundo occidental. En el capítulo siguiente veremos cómo el estudio de la electricidad daría notables sorpresas en cuanto a la naturaleza y existencia de los átomos. En este capítulo nos centraremos en la física del calor.

Uno de los problemas científicos y filosóficos más interesantes es el de la relación entre nuestras ideas habituales sobre los fenómenos y los conceptos científicos. Aunque todos tenemos una experiencia habitual de qué es el calor, no es tarea fácil definirlo en forma clara y precisa. A través de la historia del pensamiento científico se dieron diversas respuestas, pero la más popular en el siglo XVIII era la teoría del *calórico.* Según esta teoría, el calor era un tipo de sustancia, como un fluido, que se comunicaba de los cuerpos calientes a los fríos. «Tener más calor» significaba precisamente eso: tener más de esa sustancia que se llama calórico. Sin embargo, poco a poco se fueron sembrando dudas sobre esta teoría. Es famosa la observación del conde Rumford (1753-1814) de que la cantidad de calor que se puede transmitir por fricción es aparentemente ilimitada. Como ingeniero militar, observó la fabricación de cañones y constató que la cantidad de calor que se suministraba al intentar perforar un metal era proporcional a la fricción a la que era sometido el metal. El calor parecía estar relacionado, de algún modo, con el movimiento.

En 1857, poco antes de que Boltzmann comenzara sus estudios en Viena, el físico alemán Rudolf Claussius (1822-1888), que trabajaba en el Instituto Politécnico de Zurich, publicó un artículo titulado «El tipo de movimiento que llamamos calor». A partir de la idea mecánica de que los gases estaban compuestos de pequeños átomos, Claussius desarrolló una teoría según la cual la presión sobre las paredes que contienen un gas y su temperatura eran el resultado de los movimientos de los átomos. En definitiva, la temperatura no sería más que una manifestación estadística de la energía cinética de los átomos que componían el gas. A esta teoría se la conoce con el nombre de teoría cinética de los gases.

La propuesta de Claussius encontró eco en científicos jóvenes. Entre ellos, cabe destacar el trabajo del joven James Clerk Maxwell, quien intro-

dujo una modificación importante en la propuesta inicial de Claussius: Maxwell consideró que no sólo la velocidad media de los átomos determinaba la temperatura y la presión del gas, sino también su distribución de velocidades, es decir, el número de átomos que en un momento determinado tienen una velocidad superior o inferior a la media. Los artículos de Claussius y Maxwell fueron el detonante de una larga discusión intelectual acerca de la validez de la teoría cinética de los gases, y marcaron el inicio de la carrera científica de Boltzmann. De hecho, toda su biografía sigue en paralelo los altibajos de la controversia atómica. La teoría cinética de los gases y la existencia real de los átomos llegó a ser la razón de ser de su existencia, hasta el extremo de costarle la vida.

En 1866, a los 22 años de edad, Boltzmann se graduó en la universidad con el grado de doctor, y Stefan, el director del Instituto, lo tomó como asistente de investigación. Admirado por la incipiente teoría cinética de los gases, Boltzmann trató de desarrollar la fórmula de Maxwell dando explicaciones mecánicas más sólidas. El trabajo de Maxwell era matemáticamente válido, pero era una explicación *ad hoc,* es decir, no había ninguna justificación física que avalara el porqué de su distribución de velocidades. Dicho de otro modo, el trabajo de Maxwell daba una explicación válida, pero no había ninguna razón por la que tuviera que ser verdadera.

Para darle sentido físico a la fórmula de Maxwell, Boltzmann se centró en la variación de la presión de un gas con la altura. Si el gas estaba compuesto de átomos con distintas velocidades, éstas debían variar con la altura por efecto de la gravedad. Boltzmann calculó tal efecto siguiendo la distribución de velocidades de Maxwell y comprobó que coincidía con la variación de presión observada en el gas. Así Boltzmann consiguió relacionar un efecto atómico (la variación de la gravedad sobre cada uno de los átomos y, con ello, su distribución de velocidades) con un efecto macroscópico (la variación de presión). Además, Boltzmann dio un paso más en la teoría cinética incluyendo no sólo las velocidades lineales de los átomos, sino también sus vibraciones como elemento a tener en cuenta a la hora de explicar las magnitudes macroscópicas de los gases. Este trabajo lo hizo Boltzmann a los 24 años, y le valió la admiración internacional, empezando por el reconocimiento del propio Maxwell. Desde entonces, la fórmula de distribución de velocidades en un gas se conoce con el nombre de Maxwell-Boltzmann.

En septiembre de 1869, Boltzmann se trasladó con su madre y hermana a la ciudad de Graz, al sur de la actual Austria, en cuya universidad había sido contratado como profesor de física experimental. Para alguien tan joven como Boltzmann, este puesto era una muy buena oportunidad. Además, la influencia de su mentor en Viena no disminuiría. Stefan se encargó de que Boltzmann dispusiera de fondos necesarios para viajar a otras universidades de habla alemana. En Heidelberg conoció a Kirchhoff (1824-1887) y en Berlín a Helmholtz (1821-1894), dos de los máximos representantes de la física alemana del momento. Los primeros años en Graz fueron determinantes para su vida académica y personal: entre 1869 y 1872 desarrolló las ideas centrales de su trabajo sobre la estadística de los gases, y en 1873 conoció a Henriette von Agentler, quien se convertiría en su mujer.

El problema que Boltzmann identificó y desarrolló está relacionado con la fórmula de distribución de velocidades de los átomos de un gas. La pregunta central es: cómo es posible que los movimientos individuales, totalmente aleatorios y caóticos, de cada uno de los átomos de un gas mantengan una distribución de velocidades que siempre cumple la fórmula de Maxwell-Boltzmann. En un hipotético mundo ideal, el problema tiene solución. Sólo hace falta tener las ecuaciones del movimiento de todos y cada uno de los átomos y sus posiciones en un momento determinado. El problema real es que en cualquier volumen de gas, por pequeño que sea, hay millones de millones de átomos, con lo que el problema se vuelve imposible de solucionar.

Boltzmann siguió en esencia ese planteamiento, sólo que usando la matemática estadística. En vez de intentar estudiar qué le pasaría a cada uno de los átomos, Boltzamnn intentó centrarse en el comportamiento de los átomos con una particular dirección y velocidad en un momento dado. Para ello era también importante hacer una estimación sobre las posibles colisiones de los átomos y, con ello, hacer la media sobre todos los grupos de átomos tomados. Así, Boltzmann llegó a justificar la ecuación de distribución de velocidades que Maxwell había intuido y él mismo había modificado. El resultado más significativo de Boltzmann fue constatar que, mientras los átomos individuales siguieran las leyes de Newton sobre el movimiento, la constante variación de las velocidades individuales no era incompatible con la aparición de estados de equilibrio macroscópico. Un gas en estado de equilibrio (temperatura y presión constantes) escondía,

pues, una actividad frenética y aparentemente desordenada. Las leyes de Newton sobre los movimientos de los cuerpos individuales pasaban, así, a explicar la presión y temperatura de los gases, magnitudes que se refieren a grandes poblaciones de átomos. Se trataba de una auténtica sinfonía interpretada por los átomos bajo la batuta de las leyes de Newton.

En Graz, Boltzmann vivía con su madre y su hermana. A través de ésta, Boltzmann conoció a Henriette, quien tenía una gran pasión por las ciencias, y en especial la física. A mitad del siglo XIX las mujeres no podían acceder a la universidad, pero en algunos lugares se les permitía asistir a clases como oyentes. Henriette decidió pedir a Boltzmann cartas de recomendación para que otros profesores, menos dispuestos a tener mujeres en el aula, la aceptaran entre la audiencia. Ése fue el inicio de una relación en la que Boltzmann, demasiado concentrado en su física, puso muy poco de su parte.

El *romance* (por llamarlo de algún modo) fue casi en su totalidad epistolar. A Boltzamnn le ofrecieron ser catedrático de matemáticas en la universidad de Viena, y allí dirigía Henriette sus cartas, tratando de captar la atención de Boltzmann. Éste tardaba en contestar y, cuando lo hacía, daba la impresión de hacerlo más por compromiso que por interés real. Pero en el verano de 1875, tras una visita a Graz, Boltzmann le propuso casarse, a lo que ella accedió gustosamente.

Durante la luna de miel, en el verano de 1876, Boltzmann recibió la propuesta formal de ser catedrático y director del instituto de física experimental en Graz. A pesar de que su puesto en Viena estaba bien remunerado, Boltzmann no se sentía bien como profesor de matemáticas. Sus conocimientos matemáticos eran profundos, pero siempre habían estado condicionados a la física. La matemática era, para él, un instrumento necesario para hacer física, y no un objeto de estudio en sí mismo. Preparar clases de matemáticas suponía un esfuerzo demasiado grande, con lo que su tiempo para la investigación se veía muy disminuido. Por eso empezó todos los trámites necesarios para acceder a la cátedra de Graz, a donde se trasladó a vivir con su mujer. Allí nacieron los dos primeros hijos del matrimonio.

En su trabajo de 1872, Boltzmann también desarrolló una teoría para explicar la entropía. Cuando juntamos un cuerpo caliente y uno frío, hay una tendencia a equilibrar las temperaturas de manera que el cuerpo caliente se enfría y el frío gana calor. Desde un punto de vista de conserva-

ción de la energía sería posible pensar en una situación en la que el cuerpo caliente ganara calor a base de enfriar todavía más el cuerpo frío. La entropía es la magnitud con la que los físicos entendían éste y otros fenómenos análogos, y se estableció el principio según el cual los procesos espontáneos en la naturaleza tienden a conservar o a incrementar (nunca a disminuir) la entropía.

Boltzmann creyó haber demostrado el principio de máxima entropía, con lo que pasó a llamarse el teorema H. En su desarrollo, Boltzmann intuyó que, dejados a su libre albedrío, los átomos de un gas aumentarían en desorden, lo cual explicaría el incremento de entropía. Al juntar un cuerpo caliente y uno frío, tendríamos una situación inicial en la que los átomos de la parte fría, más lentos, estarían a un lado, y los átomos de la parte caliente, más veloces, en el otro. La tendencia natural, siguiendo las leyes Newtonianas del movimiento, sería a uniformar la distribución de velocidades.

De todas formas, no es absolutamente imposible pensar que, por avatares del azar, las moléculas lentas se apiñaran a un lado y las rápidas en otro, aumentando así la diferencia de temperatura y, por tanto, haciendo disminuir la entropía. Pero Boltzmann no estaba dispuesto a aceptar esta posibilidad. Su teorema H, deducido según las ideas de la mecánica estadística, no daba cabida a esa interpretación laxa del principio de máxima entropía: la validez del segundo principio de la termodinámica debía ser absoluta. Si la probabilidad de que las moléculas rápidas se apiñasen a un lado y las lentas a otro era sólo muy pequeña, todavía era posible que esto sucediese, por lo que Boltzmann forzó su teoría para que la probabilidad fuese estrictamente cero. Esto desató una polémica a escala internacional sobre la validez de los métodos estadísticos.

En Inglaterra se veía el atomismo y la mecánica estadística con simpatía, y los problemas que la teoría de Boltzmann llevaba consigo eran interpretados como un aviso a intentar comprenderla mejor. Pero en el mundo alemán, tales deficiencias fueron la excusa para un ataque furibundo al atomismo. En el centro de la disputa hay una figura de particular relevancia: Ernst Mach (1838-1916).

Algo mayor que Boltzmann, Mach había sido catedrático de matemáticas en Praga durante 27 años. Nacido en Viena, Mach había empezado como físico y matemático, pero poco a poco su trabajo se fue centrando

en la historia y la filosofía de la ciencia desde una perspectiva positivista. Según Mach, la ciencia había siempre avanzado dejando atrás explicaciones esotéricas, metafísicas o teológicas y centrándose exclusivamente en los hechos directamente observables. Sus escritos fueron ganando en popularidad y reconocimiento internacional, lo que llevó al gobierno austriaco a crear la primera cátedra de la historia dedicada a la historia y filosofía de la ciencia en la universidad de Viena, en 1895.

El año anterior, tras la muerte de Stefan, Boltzmann había sido invitado a aceptar la cátedra de física y la dirección del instituto de física de Viena. Así, el traslado de Mach a Viena precipitó el gran enfrentamiento de los dos gigantes intelectuales vieneses del momento en torno a la existencia real de los átomos y, más generalmente, en torno a la naturaleza de la ciencia. Para Mach, el peor pecado que los científicos podían cometer era tomar por ciertas las teorías científicas. Desde la física matemática se podían proponer modelos y teorías para explicar los fenómenos (en nuestro caso, explicar la presión y temperatura a partir del comportamiento de los átomos que componen un gas), pero era del todo ilegítimo considerar que tales teorías debían ser verdaderas. Que la teoría atómica funcionara no era, para Mach, señal de que los átomos realmente existían.

Para la salud de Boltzmann la discusión en torno al atomismo fue determinante. Obsesionado por las certezas científicas y por las explicaciones mecánicas de la naturaleza, Boltzmann no podía aceptar que el atomismo fuera meramente una hipótesis. Tampoco podía aceptar que su teorema H, según el cual la entropía debía necesariamente aumentar en todos los procesos, tuviera sólo una validez probabilista, dejando abierta la puerta a que, en algunos casos, se diera una disminución de la entropía. Además, Boltzmann se había quedado progresivamente solo. En el mundo de habla alemán, y más concretamente en Viena, las tesis de Mach parecían ganar fuerza y el atomismo era sustituido por el energetismo. Mientras, en el mundo anglosajón el atomismo seguía aceptándose, pero se veía con recelo una mecánica estadística capaz sólo de dar respuestas probables. Parecía que toda la carrera científica de Boltzmann había sido un sinsentido.

Tal era la tensión que acumuló y las ansias insatisfechas de reconocimiento, que Boltzmann decidió aceptar una cátedra en Leipzig, Alemania. Pero al año siguiente, tras retirarse Mach de su cátedra debido a un

infarto, Boltzmann volvió a la universidad de Viena. Este comportamiento errático escondía una progresiva neurosis en Boltzmann. El exceso de trabajo, un perfeccionismo patológico y un deseo excesivo de ser valorado como un genio de la física fueron probablemente la causa de la merma de su salud mental. En el verano de 1906, durante unas vacaciones con su familia, Ludwig Boltzmann no pudo más, y un día de septiembre se ahorcó.

Desde 1895 la física estaba avanzando por vericuetos en los que él ya no se atrevía a adentrarse. La guerra que se libraba entre atomistas y positivistas iba a saldarse con la victoria de los primeros, pero no según los planes estratégicos de Boltzmann. La aparición de los rayos X y de la radiactividad iban a proporcionar a la física información acerca del átomo y de su interior impensable para la generación de Boltzmann.

Bibliografía

Broda, E.: *Ludwig Boltzmann: Man, Physicist, Philosopher,* Ox Bow Press, Woodbridge, 1983.

Cercigniani, C.: *Ludwig Boltzmann: the Man who Trusted Atoms,* Oxford University Press, Oxford, 1998.

Cohen, E. G. D.: *Boltzmann's Legacy 150 Years after his Death,* Accademia dei Lincei, Roma, 1997.

Lindley, D.: *Boltzmann's Atom. The Great Debate that Launched a Revolution in Physics,* The Free Press, New York, 2001.



Joseph John Thomson
El primer corpúsculo

Manchester, segunda mitad del siglo XIX. Estuvimos ahí a principios de siglo, con Dalton. Las cosas han seguido evolucionando. La ciudad se ha consolidado como el gran centro de la revolución industrial. Las chimeneas humeantes dominan el horizonte, señal de un desarrollo industrial y económico desconocido hasta entonces. El transporte de personas y mercancías entre Manchester y la vecina y costera Liverpool, hasta ahora llevado a cabo en carros o barcos, se ha revolucionado con la construcción del primer ferrocarril del mundo. La población rural, presa del hambre, se hacina en la nueva metrópolis en busca de un futuro mejor, aunque éste implique largas jornadas de trabajo con bajos salarios. No es de extrañar que, en este contexto de profundos cambios sociales el liberalismo económico se vea salpicado de revueltas, huelgas y manifestaciones. No es de extrañar tampoco que Friedrich Engels (1820-1895) acabara escribiendo *La situación de la clase obrera en Inglaterra,* fruto de su experiencia en Manchester.

El desarrollo industrial de Manchester propició también la aparición de una clase media burguesa, medianamente acomodada, muy distinta de la aristocracia tradicional inglesa. En Manchester se perseguía el beneficio rápido, el pragmatismo y la utilidad. Con todo esto es natural que los hijos de esta burguesía prefiriesen aprender ingeniería y trabajar en la industria antes que ir a las universidades del país. Eso es lo que quería Joseph John Thomson, el hijo de un pequeño editor de libros de Manchester, al cumplir 14 años, en 1870. La mayoría de las universidades inglesas, entonces muy teóricas, no impartían estudios de ingeniería. El aprendizaje

de este arte se daba *in situ,* en las propias fábricas, de mano de gente con mucha experiencia. Se trataba de un aprendizaje eminentemente práctico. Pero Thomson no tuvo suerte. Era tal la demanda para estudiar ingeniería que no pudo inscribirse como aprendiz de ingeniero en ninguna fábrica. Alguien aconsejó a la familia que Thomson ingresara en Owens College, una escuela de la ciudad que, con el tiempo, se convertiría en la actual Universidad de Manchester.

Owens College era una institución a mitad de camino entre la universidad tradicional y el taller de aprendizaje mecánico. Algunos industriales de la ciudad estaban preocupados por el escaso nivel cultural de la ciudad y por la casi ausencia de investigación técnico-científica. A la larga, Manchester podía ser víctima de su propio éxito y quedar totalmente desfasada. De ahí nació la idea de crear una escuela universitaria que fomentara la investigación más fundamental entre sus alumnos, para lo cual se invitó a científicos de alto prestigio, formados en Inglaterra, Escocia y Alemania. En Owens College, Thomson aprendió física y química de la mano de gente como Osborne Reynolds (1842-1912) y Balfour Stewart (1828-1887). Con el segundo pasó muchas horas en el laboratorio y aprendería que el mundo está compuesto fundamentalmente de éter.

¿Qué es el éter? O quizás mejor, ¿qué era el éter? En el siglo XIX, en Inglaterra, los físicos recuperaron una vieja idea: el mundo está lleno. De no ser así, ¿cómo se transmiten las fuerzas, especialmente las fuerzas eléctricas? La pregunta no es trivial; aunque la existencia del éter no era tampoco evidente. El éter tenía que ser suficientemente rígido como para poder transportar las fuerzas electromagnéticas, pero, a la vez, suficientemente flexible como para no ofrecer ninguna resistencia al movimiento de los cuerpos sólidos. Igualmente, el éter debía ser totalmente liviano, pues jamás se había podido medir su masa. ¿Que es una idea contradictoria? A los físicos de hoy se lo parece; pero entonces era más absurdo pensar en fuerzas entre cuerpos distantes sin ningún intermediario que en un éter con propiedades tan extrañas. Además, el éter no sólo permitía explicar las fuerzas eléctricas. Por sus características especiales, quizás podía servir también para explicar la conexión con el mundo de los espíritus, la telepatía, etc., y así convertir estas áreas del esoterismo en ciencia pura.

Otro tema central por el que Thomson se interesó de joven en Owens College fue el tema de la composición química de la Materia. Allí hizo sus

primeros experimentos de descomposición química y también aprendió que el trabajo en el laboratorio tiene sus peligros. Al hacer una determinada mezcla, hubo una reacción imprevista que hizo explotar el tubo de ensayo. Los cristales fueron a parar a sus ojos, quedándose ciego por unos días. Afortunadamente el episodio se resolvió positivamente, gracias a los cuidados del médico de la familia.

Tras cuatro años en Owens College, Thomson olvidó su vieja idea de ser aprendiz en un taller de ingenieros y, a los 19 años, tras conseguir una beca, decidió apostar por ir a la Universidad de Cambridge. Thomson encontró un ambiente totalmente distinto en esta universidad aristocrática y tradicional. Los hijos de las familias más ricas del país acudían a estudiar por dos o tres años en un ambiente de competición y exigencia. Competición no sólo en los estudios, sino también en los deportes y en las relaciones sociales. Thomson, aunque provenía de una entorno social inferior al de Cambridge, no tuvo problemas en adaptarse, sobre todo debido a su brillantez académica (en lo deportivo siempre prefirió los largos paseos a los deportes de alta intensidad). En 1880 Thomson se graduó en matemáticas, quedando segundo en su promoción.

¿Qué aprendió Thomson en Cambridge? Fundamentalmente física matemática o, dicho de otro modo, matemática aplicada a la física. En Cambridge se enseñaba todo tipo de ecuaciones diferenciales que servían para estudiar sistemas de fluidos. Además, estos métodos matemáticos eran los que Maxwell había utilizado para desarrollar su teoría electromagnética, que era la gran novedad en física en la década de 1870. Matemáticas para fluidos y electromagnetismo: con ellas se podía describir el comportamiento del éter, el fluido por antonomasia de la física del siglo XIX.

Cambridge es, todavía hoy, un lugar cautivador para muchas personas. La intensidad académica en esta pequeña localidad al norte de Londres es tal, que muchos de los que llegan como visitantes o estudiantes querrían no abandonar nunca el lugar. Thomson cumpliría este deseo, pues murió en Cambridge en 1940, siendo, igual que Newton lo fuera dos siglos antes, *Master* del Trinity College.

Al acabar sus estudios, Thomson consiguió convertirse en tutor en el Trinity College y volvió a trabajar en un laboratorio, esta vez en el Cavendish de Cambridge. Este laboratorio de física ha tenido una gran reputación en el siglo XX. Ahí se descubrió el electrón, el protón, el neutrón, el

DNA, se *rompió* el núcleo atómico por primera vez, etc.; pero en 1880 el Cavendish tenía menos de diez años de historia y su misión era, fundamentalmente, la de ser un laboratorio de enseñanza. Después de tres años de trabajo con papel y lápiz, Thomson se reencontró con el trabajo de laboratorio, con lo cual se convirtió en un buen especialista tanto en física teórica como experimental. Así, la universidad acabó eligiéndolo, a la edad de 28 años, catedrático de física experimental y tercer director del Cavendish, sucediendo a Maxwell y Lord Rayleigh (1842-1919).

Thomson fue director del Cavendish desde 1884 hasta 1919. En estos 35 años, el laboratorio se convirtió en un lugar de referencia mundial. Físicos de todo el mundo venían aquí a formarse como investigadores, de modo que el Cavendish se convirtió en la cuna de figuras insignes de la física como el danés Niels Bohr y el neozelandés Ernst Rutherford (1871-1937). El secreto no estaba tanto en las instalaciones y medios técnicos, sino en la libertad intelectual que Thomson le dio al lugar. En el Cavendish cabía cualquier investigación física, siempre que no comportara gastos extraordinarios (a Thomson siempre se le conoció por ser muy parco en gastos). Thomson tenía grandes ideas que sugería a sus investigadores; pero éstos eran libres de tomarlas o no y de llevarlas a la práctica en el modo que creyeran más oportuno. La pedagogía que seguía era la de *dejar hacer*.

Junto con la tarea de dirigir el laboratorio, Thomson llevaba a cabo su propia investigación, que se centró en el estudio de descargas eléctricas en gases. La decisión de optar por este tema de investigación es un buen ejemplo de la influencia que tiene la formación inicial de los científicos en la carrera posterior. Thomson se interesó en Manchester por la constitución de la Materia y por la estructura del éter. En Cambridge se hizo especialista en las nuevas teorías en electricidad y magnetismo que Maxwell había desarrollado en su *Treatise*. En este libro, Maxwell había unido dos fenómenos, hasta entonces considerados distintos, como son las fuerzas eléctricas y las fuerzas magnéticas. También sugirió que los fenómenos de descarga eléctrica en gases podían ser un buen punto de partida para entender conjuntamente las fuerzas electromagnéticas con las fuerzas que mantienen unidos los átomos. Asimismo, sería un fenómeno ideal para entender la relación que tienen los átomos con el éter, y así poder comprender mejor a ambos. Maxwell no pudo llevar a cabo este proyecto debido a su muerte prematura, a la edad de 48 años, siendo director del Ca-

vendish, por lo que Thomson, que ahora ocupaba la misma cátedra que cinco años antes había ocupado Maxwell, se vio en la obligación moral de acabar la obra de su predecesor.

¿Qué son las descargas en gases? Fundamentalmente se trata del fenómeno que observamos en los fluorescentes: se llena un tubo de cristal de un determinado gas a baja presión. Al someter al gas a una diferencia de potencial eléctrico se observa una súbita luminosidad que desaparece junto con la desaparición de la diferencia de potencial. Aunque hoy estamos acostumbrados al encendido de un fluorescente, e incluso nos molesta si éste parpadea demasiado, hace más de cien años el fenómeno todavía tenía un cierto halo de misterio. Según el tipo de gas empleado, y también variando la presión del gas, el potencial eléctrico, o la forma del tubo de cristal, la coloración de la descarga era una u otra. Además, en la oscuridad, estas fluorescencias cautivaban la imaginación de científicos y público en general, no sólo por su belleza, sino también por lo sugerentes que eran en relación con el espiritismo.

Sí. Como hemos visto en un capítulo anterior, la sociedad burguesa de Inglaterra y Estados Unidos de la segunda mitad del siglo XIX estaba fascinada por el espiritismo y las fuerzas ocultas. El mismo ambiente científico que había hecho posible la conexión telegráfica entre los dos países con un cable transoceánico, también había propiciado el auge del espiritismo en la imaginación popular. Científicos y aficionados a la ciencia (diferencia que todavía no era muy clara) creían que la ciencia podía y debía explicarlo todo, también los fenómenos telepáticos y espiritistas. En 1882, un grupo se profesores y estudiantes de Cambridge fundaron la Sociedad para la Investigación Psíquica en Londres (sociedad que, por cierto, todavía existe). Entre los físicos eminentes del momento que formaron parte de la sociedad estaban el entonces director del Cavendish, Lord Rayleigh, y William Crookes, quien, junto con Thomson, era el gran especialista en el estudio de descargas eléctricas en gases. El mismo Thomson se interesó por el tema y participó en sesiones científicas de espiritismo y telepatía. Científicas, porque se llenaba la sala de medidores de electricidad y magnetismo para detectar los flujos energéticos mientras los espíritus se aparecían, hacían levitar a alguno de los presentes o hacían girar mesas flotantes.

Uno de los problemas del estudio de descargas en gases es que todo sucede a mucha velocidad. Se toman fotografías y se ralentiza el proceso tan-

to como sea posible, para poder estudiar las diversas fases del proceso. Con el paso de los años Thomson adquirió una familiaridad tal con el fenómeno que podía adivinar los pasos de la descarga e intuir los mecanismos que la hacían posible allí donde otros sólo veían un flash de luz. Pero habitualmente estos experimentos eran una fuente de desesperación debido a la pericia que requerían. Por la parte eléctrica no había ningún problema serio, pues Thomson se manejaba con soltura con el instrumental del Cavendish. La cuestión del cristal era otro cantar. Quien haya probado trabajar el vidrio sabe que el manejo de esa sustancia líquida, a unos 1500 ºC, no es nada fácil si lo que se desea es que, al enfriarse, tenga una forma muy específica. Thomson, que nunca fue conocido por su destreza manual (algunos dirían que era tremendamente patoso con sus manos), se valió de los servicios de Ebeneezer Everett, un virtuoso en el manejo del vidrio. Esa habilidad manual le valió a Everett convertirse en su asistente personal en el laboratorio.

Mientras Everett soplaba el vidrio, Thomson podía dedicarse a sus tareas de dirección del laboratorio. En 1896 y 1906, respectivamente, emprendió obras de ampliación que triplicaron la superficie disponible para clases y experimentos. En 1895 vio cómo los primeros graduados de universidades extranjeras venían al Cavendish a hacer lo que hoy llamaríamos una tesis doctoral. Entre esos primeros estudiantes se encontraba Ernst Rutherford. Otro cambio radical en el Cavendish fue que ésta fue una de las primeras instituciones de Cambridge en aceptar mujeres entre sus estudiantes. Desde su origen en el siglo XIII la universidad de Cambridge había sido una institución sólo para hombres. En 1871 la universidad aceptó que se creara un College donde las mujeres pudieran estudiar, aunque esto no les daría, hasta el siglo XX, un título de la universidad. Poco a poco, algunos departamentos de Cambridge dejaron que las estudiantes del Newnham College utilizaran sus instalaciones, a pesar de las reticencias que esto ocasionaba en los sectores más tradicionales. Quizás para demostrar su talante liberal, aunque más probablemente sólo por casualidad, Thomson no sólo aceptó mujeres en su departamento, sino que se casó con una de ellas: Rose Paget, hija del también catedrático de física en Cambridge, Sir George Paget. Desde entonces, la casa de los Thomson se convertiría en una especie de centro social del Cavendish, donde Rose prepararía el té y se reunirían algunos estudiantes e investigadores invitados por Thomson.

Pero volvamos a los experimentos de descarga en gases. Hoy en día estamos acostumbrados a hablar de carga eléctrica, aun sin saber exactamente a qué nos referimos. Cualquier estudiante de física elemental se ha enfrentado con la ley de Newton de gravitación universal y con la ley de Coulomb de fuerza eléctrica, y ha establecido una analogía entre ambas. Igual que hay una cosa que es la masa, de la cual depende la fuerza gravitatoria, habría una *cosa,* las cargas eléctricas, positivas o negativas, que se atraen o repelen entre sí. Sin embargo, pensándolo fríamente, hablar de cargas eléctricas implica haber hecho un proceso de abstracción nada evidente. Porque lo que existen no son las cargas, sino cuerpos cargados eléctricamente. Esto es importante para entender el planteamiento de Thomson y de todos los físicos ingleses del siglo XIX.

El modelo que utilizaba Thomson para visualizar la descarga eléctrica era similar a lo que sucede en la electrólisis. Thomson imaginaba que, con la descarga eléctrica, se daba una disociación de las moléculas del gas y una posterior re-asociación. Como en muchos bailes populares donde hay constante cambio de pareja, la energía disipada en la descarga eléctrica vendría de la mano de este constante intercambio de átomos entre las moléculas. Para complicarlo un poco, Thomson había desarrollado una teoría de la Materia, en 1883, según la cual los átomos no serían más que vórtices del éter; es decir, zonas donde el éter se movía formando espirales. Así, la asociación y disociación de los átomos no sería más que distintas combinaciones dinámicas de estos vórtices; y los fenómenos eléctricos vendrían descritos por las tensiones en el éter que estos movimientos producirían.

Toda esta visión del mundo, donde átomos y carga eléctrica eran manifestaciones de los movimientos de una única entidad fundamental, el éter, permitía unir química y electromagnetismo bajo el mismo prisma. Sin embargo, la teoría no prosperó y tuvo que cambiarla por otra más simple, pero menos universal, según la cual la carga eléctrica sería una propiedad de los átomos de las moléculas en su relación con el éter. Era un primer paso hacia la *atomización* de la carga eléctrica que tan importante sería para el trabajo posterior de Thomson.

Un día en la vida de Thomson nos lo presenta por las mañanas en su casa, escribiendo artículos, atendiendo a la correspondencia o trabajando en aspectos matemáticos de sus investigaciones. Rose, su mujer, debe estar

muy pendiente de que, absorbido por su trabajo, Thomson no haya olvidado ponerse los pantalones, o esté haciendo sus cálculos detrás de algún documento importante. A mediodía caminaría hacia el laboratorio donde pasaría las tardes en sus propios experimentos, en tareas del Cavendish y en asesorar a sus estudiantes. La euforia casi infantil de Thomson ante resultados prometedores era contagiosa, y su mente activa era una fuente constante de ideas para los jóvenes investigadores del Cavendish. Le gustaba el intercambio de ideas, de manera que institucionalizó unas reuniones de departamento los martes, en las que se presentaban los diversos proyectos de investigación que se desarrollaban en el laboratorio. Rose servía el té antes de empezar para hacer de estas ocasiones un evento social. Los domingos, Thomson intentaba no faltar a la cena formal en Trinity College, tras la cual los *Fellows* discutían aspectos de la universidad entre el humo de sus puros y las copas de Oporto. A este ambiente tan formal, Thomson le dio un aire de espontaneidad. A pesar de ser catedrático, todo el mundo le conocía como J. J. Incluso su mujer no era la señora Thomson, sino la señora J. J. Los J. J. tuvieron dos hijos: George Paget, nacido en 1892, y que se convertiría, como su padre, en premio Nobel de física, y Joan, nacida en 1903.

Cuando Thomson se dio cuenta de que era muy difícil establecer una teoría que explicara, a la vez, la conducción eléctrica, la composición de la Materia y la interacción entre electricidad, Materia y éter, decidió centrarse en el estudio de los rayos catódicos. Los rayos catódicos son la luz que aparece cuando se aplica una diferencia de potencial en tubos en los que se ha hecho el vacío. La ausencia de Materia hacía pensar que sería más fácil entender los mecanismos de conducción eléctrica en el éter. Se sabía que los rayos catódicos eran desviados por campos magnéticos, pero no se observaba lo mismo con los campos eléctricos. De ahí se había generado una tensión entre explicaciones corpusculares y ondulatorias de los rayos catódicos. En el primer caso, se suponía que los rayos catódicos eran el fruto del paso de moléculas cargadas eléctricamente entre el ánodo y el cátodo (los extremos del tubo). Esta explicación contrastaba con el hecho de que no parecía que hubiese desviación por campos eléctricos, debido a lo cual algunos sostenían que los rayos catódicos eran una onda transmitida en el éter, sin acompañamiento de Materia.

La aportación de Thomson a esta disputa fue, precisamente, observar que los rayos catódicos sí eran desviados por campos eléctricos, lo que ha-

cía más plausible su identificación como moléculas cargadas eléctricamente. Al haber trabajado bajo el modelo de la electrólisis, a Thomson le pareció natural que los rayos catódicos fueran el resultado de la emisión de moléculas cargadas entre el ánodo y el cátodo. La gran sorpresa para Thomson fue, sin embargo, establecer en 1897 que el cociente entre carga y masa de tales *moléculas* era tal, que su masa debía ser unas 1.000 veces más pequeña que la del átomo más pequeño conocido, el de hidrógeno. Además, la nueva molécula no dependía del tipo de material del que estaban hechos los cátodos, con lo que Thomson concluyó que la pequeña molécula responsable de los rayos catódicos era un componente de todos los átomos. A esta partícula la llamó *corpúsculo.*

Hoy llamamos electrones a los corpúsculos y los consideramos una de las partículas elementales de la Materia. Sin embargo, a finales del siglo XIX, sugerir que todos los átomos estaban compuestos por corpúsculos, iguales entre sí, fue visto con malos ojos tanto por químicos como por físicos. A Thomson se le acusó de alquimista y de querer recuperar viejos sueños de transmutación de elementos. Los átomos de Dalton eran diferentes entre sí, inmutables e indivisibles, lo que garantizaba una cierta estabilidad del universo. Si los átomos estaban compuestos por partículas subatómicas, la única diferencia entre los átomos sería el número y la organización de tales partículas, lo que abría la puerta a la posibilidad de cambiar unos átomos por otros; de transformar, por ejemplo, mercurio en oro, como querían los viejos alquimistas. De ahí que la aceptación de los corpúsculos por parte de físicos y químicos no fuera inmediata.

Thomson vio en el corpúsculo una posibilidad de volver a su viejo sueño de unir Materia, electricidad y éter bajo una misma teoría. En consonancia con el espíritu de los tiempos, Thomson sugirió que la masa de los corpúsculos era toda ella electromagnética. Es decir, que lo que se observaba como masa no era más que una estructura del éter que se comportaba como la masa. La sugerencia no es del todo descabellada: un cuerpo cargado eléctricamente se comporta como si tuviera más masa debido a la oposición al movimiento que procede del campo magnético que genera la propia carga. Lo que Thomson tenía en mente es que toda la masa aparente, y no sólo una parte, podía ser explicada como de origen electromagnético. Así, una vez más, el éter pasaba a ser la única entidad fundamental de la naturaleza.

Esta idea movió su trabajo en los años posteriores a 1900, años en los que desarrolló su modelo atómico. El átomo que Thomson propuso consistía en una zona de electricidad positiva dentro de la cual se movían miles de corpúsculos. Éstos serían los únicos responsables de la masa atómica, y sus movimientos y distribución darían las propiedades físico-químicas al átomo. Es más, Thomson confiaba en que, con el tiempo, podría abandonar la existencia de la carga positiva que unía los corpúsculos y atribuir tal unión a alguna propiedad de éstos. Sin embargo, este modelo tuvo que ser abandonado hacia 1905, cuando se demostró que el número de electrones (como empezó a conocérselos) presentes en el átomo era similar al número atómico y, por lo tanto, inferior a los 100. Con ello, la carga positiva no sólo se mantenía, sino que constituía la principal explicación de la masa atómica.

A estas alturas Thomson empezaba a ser muy conocido no sólo entre los físicos, sino también entre el gran público. En 1906 recibió el quinto premio Nobel de física de la historia (los Nobel empezaron en 1901), y las invitaciones a participar en actos académicos y sociales relacionados con la física se multiplicaron. Thomson era muy consciente de la relación entre ciencia e industria. A pesar de su formación exclusivamente académica en Cambridge, su juventud en Manchester le había enseñado la importancia de una estrecha relación entre el mundo científico y el mundo industrial. El primero podía proveer al segundo de nuevas técnicas; mientras que el segundo no sólo podía facilitar dinero a los laboratorios, sino también nuevos horizontes para la investigación. En los últimos años de su vida, Thomson sostenía que el descubrimiento del electrón y el desarrollo de la energía eléctrica y de las comunicaciones, especialmente de la radio, eran dos fenómenos íntimamente ligados. En este contexto, Thomson desempeñó un papel muy importante en hacer tomar conciencia de la necesidad de invertir en ciencia pura para el desarrollo de la sociedad. En 1931, por ejemplo, en medio de los avatares de la Gran Depresión, Thomson defendió el gasto público y privado en investigación fundamental, al considerar que tal inversión era el germen de nuevas industrias y, por lo tanto, de puestos de trabajo.

Una vez abandonada la idea de que toda la masa del átomo la proporcionaban los corpúsculos, Thomson se centró en el estudio de las radiaciones positivas con la esperanza de poder encontrar un corpúsculo positivo análogo al electrón. Sus experimentos tuvieron resultados inciertos, aun-

que apuntaban a que los rayos positivos estaban formados por núcleos de hidrógeno. Retrospectivamente se podría decir que Thomson predijo la existencia de protones; pero esto sería un anacronismo. Los contemporáneos de Thomson nunca vieron en sus experimentos con rayos positivos ninguna evidencia de la existencia de protones.

Las investigaciones en rayos positivos tuvieron que terminarse, en 1914, con el estallido de la Gran Guerra. Al principio, la Primera Guerra Mundial parecía que iba a durar sólo unos meses y que todos los alumnos de Cambridge que se habían presentado voluntarios volverían pronto a sus clases. Pero la guerra se alargó y complicó, y muchos científicos orientaron su investigación hacia las necesidades del ejército. Thomson y su laboratorio asesoraban al gobierno a la hora de decidir la validez de las ideas que la gente daba para mejorar la eficacia militar. Durante los cuatro años de guerra el gobierno recibió más de 100.000 ideas de inventos con aplicación militar. La mayoría eran descabelladas, como la de sugerir crear un ejército de leones marinos cargados de explosivos para destruir la flota enemiga, o la de minar el aire con globos aerostáticos amarrados a la costa británica y así impedir los bombardeos de los zeppelines alemanes.

Al acabar la guerra, Thomson dimitió como director del Cavendish. La decisión no fue espontánea, sino que tuvo que ser negociada porque Thomson se resistía a aceptar que, tras 35 años de director, el Cavendish necesitaba un nuevo rumbo. A cambio, Thomson se convirtió en Máster del Trinity College, quizás el cargo con más prestigio de Cambridge, y también mantuvo el uso de un despacho y un laboratorio en el Cavendish. Pero sus investigaciones científicas empezaban a ser obsoletas. En los años '20 del siglo XX, la nueva generación de físicos británicos había aceptado la teoría de la relatividad y estaba empezando a entender la mecánica cuántica, con lo que la idea del éter fue abandonada. Thomson y los físicos de su generación jamás abandonaron tal idea. Todavía en los años '30 consideraban que el éter era la entidad fundamental de la naturaleza y que todos los fenómenos físicos, incluida la masa, eran manifestaciones de estructuras profundas de este éter.

Thomson murió en Cambridge en 1940, poco después de empezar la segunda Guerra Mundial. Para entonces el electrón no era la única partícula subatómica que se conocía: los protones y los neutrones se conocieron en 1919 y 1932, respectivamente. El electrón positivo, o positrón,

apareció también en 1932, en fotografías de rayos cósmicos. El número de partículas subatómicas empezó a dispararse y, una vez más, la estructura de la Materia perdió la simplicidad que tenía en la mente de Thomson.

Bibliografía

Crowther, J. G.: *The Cavendish Laboratory,* 1874-1974, Macmillan, London, 1974.

Davis, E. A. and Falconer, I. J.: *J. J. Thomson and the Discovery of the Electron,* Taylor & Francis, London, 1997.

Kim, D-W.: *Leadership and Creativity,* Kluwer Academic, London, 2002.

Navarro, J.: «J. J. Thomson on the nature of matter: corpuscles and the continuum», *Centaurus,* 47, 2005, 259-282.

Rayleigh, Lord: *The life of Sir J. J. Thomson,* Cambridge University Press, Cambridge, 1942.

Thomson, J. J.: *Recollections and Reflections,* Mcmillan, New York, 1937.



Niels Bohr
Átomos como planetas

Copenhague es una ciudad comparable en estilo con Viena, Berlín o París. Sede de la corte danesa, la ciudad está inundada de palacios imperiales y de instalaciones culturales. La ópera, la danza, la música de orquesta y los museos dan a esta ciudad una gran calidad cultural. Un nombre, el de la cerveza Carlsberg, aparece casi siempre en los acontecimientos culturales del país: en 1876, el fundador de la compañía creó la Fundación Carlsberg para el fomento de la ciencia y las humanidades en el país, lo cual ha hecho con bastante éxito. Uno de estos éxitos es haber patrocinado la carrera científica de uno de los daneses más universales: Niels Bohr.

En el capítulo anterior hemos visto cómo Thomson conoció a la que sería su mujer gracias a la admisión de mujeres como estudiantes en el Cavendish. El caso de los padres de Bohr es similar. Christian Bohr, catedrático de fisiología en la universidad de Copenhague, era un ferviente defensor de la causa feminista y participó como docente en una de las primeras instituciones de educación superior danesas. Una de sus estudiantes, Ellen Adler, hija de un banquero de origen judío, se convertiría en su mujer. El matrimonio tuvo tres hijos, Jenny, Niels, nacido en 1885, y Harald, que crecieron en un ambiente rodeado de libros científicos (especialmente de biología) y filosóficos. Además, el padre de los Bohr se solía reunir en casa con catedráticos de filología, física y filosofía (que junto con fisiología formaban el grupo de las cuatro F's) para entablar discusiones filosóficas. Jenny murió a los pocos años, pero los dos hermanos, muy unidos toda la vida, acabarían siendo eminencias en física y matemá-

ticas, respectivamente. Ambos siempre consideraron que su casa fue la gran escuela donde aprendieron la pasión por las grandes preguntas de la ciencia y la filosofía.

Niels Bohr transformó la física. Y lo hizo no porque descubriera algo radicalmente nuevo, sino principalmente por el modo como afrontó los problemas físicos de su tiempo. Bohr cambió la física porque le interesaba la filosofía y porque tenía un sentido religioso de la vida que le hacía cercano a Kierkegaard (1813-1855). Su sensibilidad, expresada en sus cartas con giros propios de Hans Christian Andersen (1805-1875), le permitió entender que la naturaleza tenía una riqueza y una profundidad que nuestra capacidad de conocer jamás alcanzarían.

Bohr estudió física en la universidad de Copenhague, donde también hizo el doctorado. El tribunal que juzgó su tesis tuvo que admitir que nadie en Dinamarca podía juzgar ese trabajo porque era demasiado avanzado. El trabajo versaba sobre la teoría del electrón que J. J. Thomson había desarrollado, con lo que Bohr consideró que lo mejor sería ir al Cavendish a trabajar. Con dinero de la fundación Carlsberg, Bohr partió para Cambridge en el otoño de 1911, con la esperanza de trabajar con Thomson. Sin embargo, Thomson no tuvo suficiente tiempo para dedicar a un Bohr lleno de ideas y entusiasmo y, después de dos trimestres, decidió ir a Manchester, donde Rutherford dirigía el laboratorio de física de la universidad.

Proveniente de Nueva Zelanda, Rutherford había estudiado con J. J. Thomson, se había trasladado a Canadá y ahora era catedrático de física en Manchester, donde había establecido un laboratorio para el estudio de la radioactividad. Rutherford y Bohr congeniaron muy bien, dando origen a una de las amistades más fructíferas de la física del siglo XX. Y no porque sus maneras de hacer ciencia coincidieran. Bohr era especulativo, le gustaba la filosofía y su pasión era la física teórica. Rutherford era práctico y experimental y veía con suspicacia toda aproximación teórica a los problemas científicos. Sin embargo, esta diferencia de enfoques hizo que ambos se complementaran muy bien.

Con sus asistentes Geiger y Marsden, Rutherford acababa de hacer uno de los experimentos más importantes en la historia de la estructura de la Materia. El proyecto inicial consistía en un estudio de la dispersión de los rayos alfa provenientes de materiales radioactivos. Para ello se lanzaban haces de estas partículas contra distintos materiales. Al hacer esto sobre pla-

cas de oro muy finas, parte del haz volvía en dirección contraria. Era «como si al disparar una bala con un rifle contra una hoja de papel ésta rebotara». Lo que sucedía es que Rutherford había entrado en el átomo con las partículas alfa y con ello había visto que los átomos no eran tan uniformes como suponía el modelo de Thomson, sino que estaban compuestos por un núcleo muy pequeño, con carga positiva, y un espacio alrededor donde estaban los electrones orbitando. Mientras la mayoría de las partículas alfa atravesaban la Materia sin inmutarse, algunas iban a dar con el núcleo y, así, eran repelidas y rebotaban. De repente, Rutherford *vació* ese universo *lleno* que Thomson había tenido en mente durante tanto tiempo. Los átomos eran un espacio fundamentalmente vacío donde los electrones orbitaban alrededor de un núcleo positivo muy pequeño.

Este *gran descubrimiento* pasó del todo desapercibido. Los experimentos de Rutherford entre 1909 y 1911 no generaron ninguna expectación: el estudio de la radioactividad era todavía muy joven y una interpretación tan arriesgada de la estructura del átomo no parecía del todo justificada. Pero a Bohr le interesó. El principal problema que el modelo de Rutherford tenía eran los electrones. En física clásica, una partícula cargada eléctricamente en movimiento emite radiación, con lo que se va frenando. Los electrones de Rutherford acabarían por caer en el núcleo atómico en menos de un segundo. Bohr, más joven e interesado por las novedades en física, conocía la teoría de Max Planck (1858-1947) según la cual la emisión de energía sólo tiene lugar en múltiplos de un cierto valor *(h,* conocido como la constante de Planck). Lo que Bohr diseñó fue un átomo en el que los electrones orbitaban alrededor del núcleo sólo en determinadas órbitas. La diferencia de energía entre ellas serían necesariamente múltiplos de esa constante. Así, normalmente un electrón no abandonaría su órbita por carecer de energía suficiente para pasar a otra órbita, dando así estabilidad al átomo.

El átomo de Bohr empezó a gestarse en una representación de Othelo en Manchester, según leemos en cartas que dirige a su prometida, Margarethe, con quien se casó el 1 de agosto de 1912. El trabajo era tan intenso que la luna de miel inicialmente prevista en Noruega se cambió a Cambridge y Manchester, donde Bohr pudo seguir trabajando hasta culminar, en la primavera de 1913, en un modelo consistente que explicaba el espectro de los átomos. Desde mediados del siglo XIX se conocía que cada tipo de átomo emitía un tipo de luz característico, el espectro atómico. El mo-

delo de Bohr implicaba que cuando un electrón saltaba de una órbita permitida a otra, se emitía (o absorbía) energía en forma de luz, luz que coincidía con la observada en los espectros atómicos. Bohr también supuso que los electrones y sus órbitas alrededor del núcleo eran el origen de casi todas las propiedades químicas del átomo, mientras que cambios en el núcleo darían lugar a transmutaciones atómicas, es decir, a la transformación de un átomo en otro.

El modelo de Bohr fue publicado en tres artículos de la *Philosophical Magazine,* una de las principales revistas científicas inglesas. Sin embargo, como suele suceder, el nuevo modelo fue recibido con más críticas que alabanzas, principalmente por parte de la generación de científicos mayores, reacios a aceptar el postulado cuántico de Planck. Más favorables fueron los físicos involucrados en el estudio de la espectroscopía, como Moseley (1887-1915), en Oxford, o Stark (1874-1957), Zeeman (1865-1943) o Sommerfeld (1868-1951), en Alemania, que vieron en la teoría de Bohr una explicación casi perfecta de los fenómenos que estaban observando, especialmente para el caso del átomo más simple, el de hidrógeno. En 1922 Bohr consiguió, utilizando su modelo atómico, clarificar la organización de los elementos que Mendeleiev había hecho en el siglo anterior. Bohr propuso que los electrones estaban distribuidos en capas, cada una de las cuales contenía un número determinado de electrones. Las propiedades químicas de los elementos vendrían determinadas por tal distribución electrónica, lo cual explicaría la variación en las propiedades químicas de los elementos según su posición en la tabla periódica. Con esta aportación, su modelo fue definitivamente aceptado. La tardanza no fue sólo debida a la reticencia de los físicos, sino también a la guerra que vivió Europa entre 1914 y 1918, y que mantuvo a los científicos ocupados en asuntos militares o presa de la falta de comunicaciones, especialmente entre Alemania y el bloque aliado.

Dinamarca fue, durante la primera Guerra Mundial, país neutral. Con ello, Bohr pudo seguir sus investigaciones en Manchester, a la espera de que se creara una cátedra para él en la universidad de Copenhague, lo cual sucedió en 1916. La idea de Bohr, a partir de entonces, era la creación de un instituto de investigación en física en la capital danesa donde poder desarrollar sus investigaciones teóricas y experimentales. Los avatares del final de la guerra y la posterior crisis económica, que se extendió también en Dinamarca, fueron retrasando el proyecto. El Instituto de Física de

Bohr se inauguró en 1921, y su principal benefactor fue la Fundación Carlsberg.

Cuando se habla de física en el periodo de entre-guerras hay dos lugares que destacan: el laboratorio Cavendish de Cambridge y el Instituto de Física de Copenhague. Son como dos caballos que, en paralelo, impulsan los grandes cambios en nuestra manera de entender la Materia. El primero, dirigido a partir de 1919 por Rutherford, se centró en el estudio experimental de la radioactividad y fue el centro por antonomasia de la física nuclear; el segundo se convertiría en el gran semillero de ideas para el desarrollo de la física cuántica en su vertiente más teórica. Copenhague se convertiría en el principal centro de peregrinación de toda una generación de físicos europeos, atraídos por el carácter, prestigio y buen hacer de Bohr, así como por las peculiares condiciones de trabajo del lugar.

Al terminar la guerra, Alemania se convirtió en un país vencido, humillado y repudiado por el resto de Europa. A sus ciudadanos, científicos incluidos, se les culpaba de las atrocidades de una guerra que había superado con creces las más macabras profecías apocalípticas. Basta con viajar por cualquier ciudad o pueblo inglés, por ejemplo, para darse cuenta del fuerte impacto que la Gran Guerra causó en el imaginario colectivo. La que iba a ser una de tantas guerras europeas se convirtió en una masacre a gran escala, en la que el armamento químico y biológico fue utilizado sin ningún reparo. Por eso, tras la guerra era muy difícil que físicos alemanes viajaran a Inglaterra para intercambiar ideas. De ahí que Copenhague se convirtiese en el lugar ideal para la reunión de jóvenes científicos de nacionalidades enfrentadas. Bohr, con su carácter amigable y jovial, se encargó de crear el ambiente propicio para un intercambio fructífero de ideas, donde no sólo las barreras de país no importaban, sino tampoco las jerarquías académicas. En el instituto de Bohr todo el mundo era igual: catedráticos y jóvenes doctorandos estaban al mismo nivel, lo cual dio lugar a un clima intelectual desconocido en la época. Lo que sí era más normal era que Bohr y su familia vivieran en el primer piso del instituto.

Por ahí pasaron todos los grandes nombres de la física del siglo XX: Pauli (1900-1958), Schrödinger (1887-1961), Heisenberg (1901-1976), Klein (1894-1977), Gamow (1904-1968), Kramers (1894-1952), Ehrenfest (1880-1933), Rosenfeld (1904-1974). En 1923, en su primera visita a los Estados Unidos, Bohr mantuvo contactos con la Fundación Rocke-

feller, interesada en promocionar la internacionalidad de la ciencia. Ése fue el principio de una larga colaboración para financiar la estancia de físicos extranjeros en Copenhague. Más adelante veremos cómo la relación con la Fundación Rockefeller acabaría siendo determinante en los cambios que ocurrieron en la ciencia durante y después de la Segunda Guerra Mundial. El edificio de la calle Blegdamsvej 17 todavía está en uso. Desde 1965 se llama oficialmente el Instituto Niels Bohr de astronomía, física y geofísica, y conserva el despacho de Bohr y algunas de las aulas tal como eran en los años de entre-guerras.

Durante una conferencia en la facultad de matemáticas y ciencias naturales de Göttingen en 1922, un joven estudiante de veinte años puso a Bohr una pregunta que éste no supo contestar. Se trataba de Werner Heisenberg, un alumno de Sommerferld que estaba muy interesado en la teoría atómica de Bohr. De ahí nació una relación de amistad que duraría hasta 1940. Heisenberg fue invitado al instituto de Copenhague, y se convirtió en uno de los principales motores de la nueva mecánica cuántica. Heisenberg utilizó la matemática matricial para demostrar que el modelo de Bohr era más consistente si se abandonaba el concepto de órbita electrónica y sólo se atendía a los valores físicos del electrón como su energía. El formalismo matemático, elegante y más sencillo que el utilizado por Bohr, introducía el concepto de salto energético sin atender a una descripción física del proceso por el cual un electrón cambiaba de una órbita a otra. Lo único que importaba era lo que realmente se podía observar: las energías de los electrones antes y después de su interacción con la Materia, no el proceso mismo de interacción.

Así, Heisenberg, apoyado por Bohr, dio un salto filosófico muy importante. Lo que importaba en física era lo que se podía observar. Y los electrones en sus órbitas no se pueden ver. Lo único que se ve son sus líneas espectrales y su interacción con la Materia, no la órbita misma. En consecuencia, la física debe sólo describir lo que se observa y no asumir mecanismos o trayectorias de los que no se sabe nada. Además, como en el proceso de medición siempre se afecta la entidad medida, nunca podemos conocer cómo realmente son las cosas, sino cómo son después de interactuar con nuestro aparato de medición. Esta idea está en el fondo del conocido principio de indeterminación de Heisenberg, según el cual es imposible determinar simultáneamente y con absoluta precisión la velocidad y la posición de una partícula.

Bohr, gran entusiasta de la metodología de Heisenberg, se enfrentó con Erwin Schrödinger, quien se había aproximado al problema de las órbitas electrónicas desde una perspectiva totalmente distinta. Schrödinger se centró en la idea de que podía haber una correspondencia entre partícula y onda; había considerado que una manera de entender las órbitas de los electrones era reconocer a éstos como ondas. Bohr invitó a Schrödonger a Copenhague para poder discutir su teoría. Tal fue el entusiasmo con el que Bohr discutía, que el invitado cayó enfermo y tuvo que quedarse en casa de los Bohr. Esta convalecencia no fue nada grata, pues mientras Margarethe cuidaba de él, Bohr aprovechaba la debilidad de Schrödinger para discutir con más ahínco la teoría. La sorpresa llegó poco más tarde cuando el propio Schrödinger, en su afán por demostrar que su teoría era mejor que la de Heisenberg, llegó a la conclusión de que ambos planteamientos eran totalmente equivalentes.

En el instituto de Bohr se gestó y consolidó lo que hoy conocemos como interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. El elemento principal de esta interpretación es el llamado principio de complementariedad, que Bohr formuló en 1928, y que consiste en considerar ondas y partículas como explicaciones complementarias de la misma entidad. No podemos tener una descripción única, sino que necesitamos ambos elementos para describir el comportamiento de las partículas subatómicas. De hecho, lo que está en la base del planteamiento de Bohr es el abandono de un realismo ingenuo con respecto a la física. Para conocer hay que medir, y medir significa interactuar de algún modo con el sistema a conocer. Llevado al extremo, esto significa que en nuestro conocimiento del mundo físico no se puede establecer una separación tajante entre objeto conocido y sujeto que conoce. ¿Sabemos qué es un electrón? No del todo. Lo único que sabemos es que lo observamos a veces como onda y a veces como corpúsculo. Ése debe ser, pues, el punto de partida. La pregunta *qué es un electrón* se sustituye por *cómo se nos aparece un electrón*. Y esta última pregunta tiene dos modos de respuesta complementarios entre sí. El tipo de respuesta dependerá del diseño del experimento.

La interpretación de Copenhague fue rápidamente aceptada, y Bohr y Heisenberg aplaudidos por su contribución. Pero no por todos. Einstein fue de los primeros en no aceptar la mezcla entre realidad y conocimiento que tal interpretación implicaba. En particular, Einstein se opuso toda su vida a la indeterminación que los fenómenos físicos pasaban a tener. Para

él, «Dios no juega a los dados», frase con la que Einstein quería enfatizar su firme creencia en una física determinista, es decir, una física en la que, dadas unas condiciones iniciales, era posible conocer con antelación el resultado final. Con la interpretación de Copenhague esta posibilidad desapareció, y el mundo recobró contingencia y, por así decir, la capacidad de sorprendernos.

La fundación Carlsberg siguió determinando la vida de Bohr. En 1931, el gobierno danés decidió dar a Bohr el privilegio vitalicio de ocupar la residencia honoraria Carlsberg. El fundador de la compañía había establecido en su testamento que su casa se convirtiese en la residencia de algún danés que destacara por su aportación a las ciencias. Bohr, Margarethe y sus hijos abandonaron su apartamento en el Instituto de Física y se trasladaron a la señorial casa, la cual también se convertiría en testigo de muchas conversaciones y reuniones de científicos, como antaño lo fuera la casa de los padres de Bohr.

El instituto seguiría siendo sede de los más interesantes desarrollos en física teórica hasta la Segunda Guerra Mundial, pero también sería el escenario de representaciones teatrales, sátiras y comedias sobre la física, que los propios investigadores del instituto escribían y representaban. Entre ellas, no podía faltar la pieza favorita de Bohr, el *Fausto* de Goethe, de la que Max Delbrück (1906-1981) escribió una sátira en la que los personajes principales son Bohr, Ehrenfest, Gamow, Einstein y otros. En otras ocasiones Landau (1908-1968) y Gamow llevaban a Bohr a ver películas al cine para poder distraerse.

Pero la situación internacional se fue complicando. En 1933, la Alemania de Hitler expulsó de sus puestos universitarios a todos los judíos, lo cual creó una legión de científicos de primera línea sin empleo y, peor, sin libertad para desarrollar su ciencia. Muchos de ellos conocían directamente a Bohr gracias a alguna estancia hecha en el instituto de Copenhague, o por algún intercambio epistolar. La gentileza y libertad con la que uno podía dirigirse a Bohr hicieron que a él acudieran muchos en busca de ayuda. Más aún. En muchas ocasiones era el mismo Bohr el que se adelantaba a ofrecer su ayuda a aquellos cuyas carreras científicas y aun sus vidas estaban en peligro. El primer paso era invitarles a Copenhague desde donde Bohr usaba su influencia para obtenerles un puesto en alguna universidad europea o americana. Sus contactos con la fundación Rockefeller fue-

ron, en este caso, determinantes. Con ellos, Bohr consiguió que muchos científicos desplazados por las leyes raciales de Hitler se pudieran trasladar a universidades de los Estados Unidos, las cuales, a su vez, estaban sedientas de jóvenes talentos formados en la tradición continental. Así, Copenhague se convirtió en el trampolín de acceso a América en un flujo irreversible que se consumaría durante la segunda Guerra Mundial. A veces se ha llamado a esta migración de cerebros el gran *regalo* de Hitler a los Estados Unidos.

Al estallar la guerra Dinamarca decidió mantenerse neutral. Sin embargo, Hitler acabó anexionando Dinamarca a Alemania, con lo que la persecución a los judíos se extendió también entre los daneses. La situación de Bohr se complicó, pues era conocida su postura contraria a las políticas nazis y su constante ayuda a los judíos a huir. Pero Bohr se quedó en Dinamarca con la intención de seguir su colaboración con la resistencia. Sólo en 1943 la situación se volvió tan peligrosa para él que decidió huir a Inglaterra y América. En ambos lugares su misión inmediata fue la de colaborar con los esfuerzos que ambos países llevaban a cabo para fabricar una bomba atómica.

En 1939, tras el descubrimiento de la fisión nuclear, todos los físicos se dieron cuenta de las posibilidades abiertas con tal descubrimiento, con lo que las investigaciones en el área dejaron de ser públicas. En este contexto Bohr recibió una visita inesperada en octubre de 1941 en Copenhague, visita que se convertiría en uno de los momentos más amargos de su vida y una constante fuente de especulación para historiadores. Su gran amigo Heisenberg volvió al instituto en una fugaz visita.

Heisenberg se quedó en Alemania durante la segunda Guerra Mundial. Es difícil juzgar los motivos y hasta qué punto tenía una obligación moral de abandonar el país o no. Siendo uno de los físicos punteros en Alemania, es lógico que le encargaran estudiar la posibilidad de construir una bomba atómica alemana. La visita a Bohr tuvo la bomba atómica como telón de fondo, pero el motivo concreto no está claro. La obra de teatro, *Copenhague,* de Michael Frayns, especula sobre el contenido de tal entrevista dando cuatro posibles respuestas al por qué de la visita. Bohr interpretó el encuentro como un intento de Heisenberg de atraerlo a la causa nazi y de servir con su conocimiento al proyecto de la bomba atómica alemana. La versión de Heisenberg fue distinta. Tras la guerra siempre defen-

dió que su intención era la de tranquilizar a Bohr con respecto a las posibilidades alemanas de fabricar la bomba. El caso es que los científicos alemanes jamás consiguieron desarrollar el proyecto, en parte por errores fundamentales de Heisenberg, quien consideró tal proyecto imposible. De hecho, cuando los Estados Unidos lanzaron las bombas sobre Hiroshima y Nagasaki, Heisenberg y otros científicos alemanes estaban en prisión en Inglaterra. Al enterarse de la noticia, su reacción fue de incredulidad y asombro, lo cual demostró cuán imposible habían considerado el proyecto de una bomba atómica.

En 1943 la situación de Bohr en la Dinamarca ocupada se volvió demasiado peligrosa y decidió huir a Suecia y, desde ahí, a Inglaterra. Allí descubrió que el proyecto británico de fabricar una bomba atómica estaba bastante desarrollado, pero que eran los americanos los que iban a la cabeza con el proyecto Manhattan. En el otoño de 1943 Roosevelt (1882-1945) y Churchill (1874-1965) llegaron a un acuerdo para unir esfuerzos y muchos científicos del proyecto inglés se trasladaron a América. Bohr se unió al equipo de Los Álamos, donde Oppenheimer (1904-1967) y Fermi (1901-1954) eran los líderes, pero enseguida empezó a manifestar sus temores respecto de las consecuencias del proyecto tras la guerra. Bohr, al igual que Einstein, intuía que, al excluir a Rusia del proyecto, se abría la puerta a una carrera armamentística al terminar la guerra, como de hecho sucedió. En Roosevelt, Bohr encontró un interlocutor mejor dispuesto que en Churchill. Aun así, el proyecto Manhattan y su secreto con respecto a Rusia se mantuvieron en pie.

Al terminar la guerra Bohr volvió al instituto de Copenhague, donde gestionó la ampliación de sus instalaciones y promovió la investigación en física nuclear. Como siempre, gran parte de los fondos vinieron de la fundación Carlsberg y del gobierno danés. Pero en estos años Bohr se sintió impulsado también a luchar por la paz en un mundo donde la cerrazón imperaba en los dos bloques que emergieron de la Segunda Guerra Mundial. En una carta abierta a la ONU en 1950, Bohr defendió un mundo sin fronteras intelectuales, donde todo el conocimiento de los países fuese patrimonio de la humanidad y no arma arrojadiza contra los países vecinos. Su experiencia en el Instituto de Copenhague le había enseñado que la desaparición de barreras nacionales era garantía de éxito en la investigación científica. Bohr proponía extender esta filosofía a todos los ámbitos de las relaciones internacionales.

Desde entonces Bohr se convirtió en un personaje público a nivel mundial, recibiendo invitaciones por todo el mundo para explicar su ciencia, su filosofía y su visión del mundo. Su mente siguió siendo fuente de ideas para la joven generación de físicos que emergía en los años 50, a remolque de la popularidad de la física tras el proyecto Manhattan. El Instituto fue la sede de Bohr hasta su muerte en 1962.

BIBLIOGRAFÍA

BLAEDEL, N.: *The life of Niels Bohr,* Springer-Verlag, London, 1988.
MOORE, R.: *Niels Bohr: the Man, his Science and the World they changed,* A. A. Knopf, New York, 1966.
PAIS, A.: *Niels Bohr's Times, In Physics, Philosophy and Polity,* Clarendon, Oxford, 1991.



Robert A. Millikan
PARTÍCULAS EXTRATERRESTRES

Nos trasladamos a América, donde finalmente parece despuntar la física tras siglos de dominio europeo. A finales del siglo XIX las universidades americanas y las fundaciones dependientes de empresas privadas empezaron a invertir grandes sumas de dinero en investigación científica, con el objetivo de equiparar su ciencia con la europea. En el fondo no se trataba tanto del prestigio intelectual, sino de la dependencia tecnológica respecto del viejo continente. No es de extrañar, por tanto, que los primeros en destacar fueran personajes como Thomas Edison (1847-1931), más interesados en patentar descubrimientos y desarrollar nuevos productos que en descubrir los secretos del universo. El pragmatismo americano y su mentalidad emprendedora se imponían a la herencia filosófica europea.

Robert A. Millikan llegaría a ser el segundo americano en recibir el premio Nóbel de física, pero nada hacía predecir, en su primera juventud, que se dedicaría a la física. Nacido en el estado de Illinois el 22 de marzo de 1868, Millikan era hijo de un pastor protestante, del cual heredó un intenso interés por la religión y las cuestiones teológicas, así como su pasión por el trabajo intenso y el constante perfeccionamiento personal. Su infancia la pasó en un ambiente rural y estudió en una pequeña universidad de Iowa. Allí dedicó gran parte de su tiempo al estudio de las lenguas clásicas, especialmente el griego. La universidad necesitaba un profesor de física para el curso preparatorio y el director, viendo las habilidades de Millikan, le propuso ocupar tal puesto. El argumento que recibió el asombrado Millikan fue que a cualquiera que se le dé bien el griego, puede sin

problemas estudiar física. Ahí comenzó su interés por la física y acabó doctorándose en la universidad de Columbia, en Nueva York.

Como parte del emergente empuje que las ciencias estaban teniendo en América, se fomentaba el envío de estudiantes prometedores a Europa, principalmente a Alemania, a terminar su formación. Éste fue el caso de Millikan, quien pasó el curso 1895-6 en Berlín y Göttingen. Precisamente en ese año Röntgen (1845-1923) descubrió los rayos X y Becquerel (1852-1908) la radioactividad, descubrimientos ambos que están en el origen de las importantes transformaciones que sufrió la física en el siglo XX. A su vuelta de Alemania, Michelson (1852-1931) le ofreció un puesto en la recién nacida universidad de Chicago, donde Millikan empezó a enseñar física y a desarrollar sus propios experimentos.

Millikan tuvo siempre muchas dotes como profesor y como divulgador de la ciencia, de ahí que gran parte de su tiempo en sus primeros años en Chicago lo dedicara a enseñar y a escribir libros, con los que completaba sus ingresos. En Chicago también conoció a Greta Blanchard, con la que se casaría poco más tarde. Todos sus proyectos de investigación habían llegado a un callejón sin salida; pero, en vez de desanimarse, decidió dedicar más tiempo y más esfuerzos a esta tarea. Para ello había que encontrar un tema suficientemente interesante que le valiera el reconocimiento de la comunidad científica. Intentó estudiar el proceso de descargas eléctricas en gases, la concentración de materiales radioactivos en diversos materiales, la emisión de electrones en superficies metálicas… Tuvo que abandonar estos proyectos uno tras otro al no llegar a ningún resultado concluyente, o al constatar que otros investigadores llegaban a conclusiones más significativas que las suyas. Finalmente, encontró dos temas en los que se manejó cómodamente: la determinación de la carga del electrón y el estudio del efecto fotoeléctrico.

Cuando J. J. Thomson encontró que los rayos catódicos estaban compuestos de corpúsculos mucho más pequeños que el más pequeño de los átomos conocidos, simplemente sugirió que dichos corpúsculos eran todos iguales. Pero la única magnitud que Thomson pudo medir era una proporción; el cociente entre masa y carga de tales partículas. No había ningún dato definitivo acerca de la carga del corpúsculo que demostrara que todos los electrones eran iguales. Para ello era necesario medir directamente la carga de la partícula, y ése fue el proyecto que Millikan emprendió.

En el Cavendish habían intentado medir directamente la carga del electrón con la siguiente idea: comparando la caída de una nube de vapor de agua sometida sólo a la fuerza de la gravedad, con su movimiento al aplicar un campo eléctrico a la nube, era posible, en principio, medir la carga presente en la nube. Millikan intentó repetir la técnica, pero, al hacerlo, observó que unas pocas gotas quedaban suspendidas. Su idea fue suponer que en esas gotas de agua las fuerzas de gravedad y eléctrica se compensaban entre sí. Relacionando la masa de las gotas con la fuerza eléctrica era posible ver que la carga eléctrica de todas las gotas era siempre un múltiplo de una cantidad fija. Millikan dedujo que tal cantidad debía ser la carga eléctrica más pequeña y, por tanto, la que correspondía al electrón. Al principio los experimentos de Millikan fueron vistos con sospecha debido a que se trataba de un valor esperado: las medidas del cociente carga-masa del electrón que Thomson había obtenido permitían inferir el valor de la carga eléctrica de los corpúsculos. Además, las medidas con vapor de agua eran poco fiables, pues las gotas de agua eran visibles por poco tiempo antes de su evaporación. La idea que tuvo Millikan y que, con el tiempo, le valió el reconocimiento de la comunidad científica, fue sustituir el agua por aceite, líquido mucho menos volátil que el agua. Con el uso de un microscopio, Millikan consiguió manipular a su antojo las pequeñas gotas de aceite por tiempos de hasta cuatro horas y media, con lo que pudo determinar su carga con mucha precisión. El experimento era lo más parecido a poder manipular los electrones mismos.

En cuanto al segundo tema de investigación, Millikan, ayudado por estudiantes de doctorado de Chicago, se dedicó a estudiar los efectos de la temperatura y el tiempo en la intensidad del efecto fotoeléctrico. En este caso, Millikan unió investigación y docencia al desarrollar sus investigaciones dentro de las clases y trabajos de doctorado de sus alumnos. Con ello se consiguió crear un auténtico equipo de especialistas en efecto fotoeléctrico, en un tiempo en el que la investigación todavía seguía los cánones del individualismo. La joven universidad de Chicago era el lugar ideal para llevar a cabo tales cambios organizativos. Mientras que tradicionalmente el profesor tenía un papel casi exclusivamente docente, en Chicago se estaba imponiendo un nuevo tipo de profesor: el investigador que, haciendo partícipe de sus investigaciones a los alumnos, tiene como misión principal la de formar otros investigadores. Gracias a su experiencia en Europa, Millikan fue uno de los primeros físicos en América en encarnar este nuevo modo de hacer y enseñar ciencia.

La carga del electrón y el efecto fotoeléctrico pusieron a Millikan en el centro de las especulaciones sobre la constitución de la Materia. Del electrón ya hemos hablado en capítulos anteriores. Pero ¿qué era un fotón y en qué consistía el efecto fotoeléctrico? En 1905 Einstein vio que, al hacer incidir luz sobre una placa metálica, ésta emitía electricidad negativa en forma de electrones. Esta emisión tenía unas características sorprendentes. La emisión de electrones sólo tenía lugar a partir de un valor determinado de la energía de la luz incidente, por debajo del cual no se observaba ningún fenómeno. Siguiendo el paradigma de la física clásica, era de esperar que la emisión de electrones dependiera de la cantidad de energía aportada por la luz y no de su intensidad. Pero por debajo de un umbral determinado no había emisión de electrones. Por decirlo de otro modo: los electrones no acumulaban la energía que les venía de la luz si su intensidad no estaba por encima de un valor determinado.

La interpretación que Einstein dio a sus observaciones fue novedosa: considerar la luz como compuesta de partículas, a las que llamó fotones, cuyas energías, siguiendo la ley cuántica de Planck, tenían valores discretos. Sólo aquellos fotones con una energía superior a un cierto umbral podían hacer salir electrones de los átomos, como si de un juego de billar se tratara. Aquellos fotones con energías inferiores a un mínimo nunca podían arrancan electrones de los átomos. El proceso de aceptación del fotón como partícula elemental fue largo, y no es de extrañar. En la hipótesis de Einstein los fotones eran partículas porque tenían energía y velocidad; pero su masa en reposo era cero y su número era variable. Además, en el proceso fotoeléctrico se daba la desaparición de los fotones en forma de energía absorbida por los electrones en su escapada de los átomos. La nueva física estaba, pues, empezando a introducir conceptos poco asimilables para las mentes más clásicas.

Los experimentos de Millikan en los años 1910-1915 resultaron en una corroboración experimental de la fórmula para el efecto fotoeléctrico que Einstein había dado en 1905. Millikan emprendió en estos años un estudio sistemático del efecto fotoeléctrico en función de tantas magnitudes físicas como creyó oportuno. Cambiaba el tipo de metal del que salían los electrones, el tipo de luz emitida, la energía, la presión, la temperatura… El resultado de este estudio fue la validación de la fórmula de Einstein para el efecto fotoeléctrico. Con esto, la carrera de Millikan había quedado definitivamente ligada al problema de la estructura de la

Materia. Sus dos trabajos más significativos versaban acerca de las únicas partículas elementales conocidas en su tiempo: el electrón y el fotón.

Estados Unidos entró en la Primera Guerra Mundial en 1917, tras casi tres años de conflagración en Europa. En los años inmediatamente anteriores se había creado el Consejo Nacional de Investigaciones, institución encargada de promover la unión de estamentos industriales, gubernamentales, educativos y militares para el desarrollo de la investigación científica. No es de extrañar que este tipo de institución naciera en un tiempo de pre-guerra, cuando los sentimientos patrióticos y nacionalistas estaban a flor de piel. Millikan fue, bajo la dirección del astrónomo G. E. Hale (1868-1938), uno de los científicos elegidos para poner en marcha el Consejo, uno de cuyos primeros trabajos fue coordinar la investigación en detección de submarinos, que se habían convertido en uno de los elementos clave de la guerra. Para ello era muy conveniente la participación de las dos grandes compañías eléctricas del país, General Electric y Western Electric Company, tarea que le correspondió a Millikan conseguir. Este episodio es relevante porque pone de manifiesto el trabajo del científico, que no sólo consiste en desvelar los secretos de la naturaleza, sino, sobre todo, en organizar las fuerzas científicas de un país (fuerzas industriales, militares y académicas) en la consecución de objetivos comunes.

Al terminar la guerra, el Consejo siguió trabajando. Al hablar de esta etapa, Millikan decía que «al terminar la guerra, perdimos la paz», expresión con la que quería subrayar que los trabajos y la experiencia ganada durante la guerra se convirtieron en trampolín para la organización científica del país. Millikan no pudo volver a la vida académica inmediatamente, sino que antes se dedicó a organizar los trabajos del Consejo. Dentro de este marco, Millikan fue responsable de la organización de las becas del Consejo para la formación de personal científico cualificado para la investigación en cuestiones militares. La guerra había terminado, pero, al igual que sucedió al final de la Segunda Guerra Mundial, tanto los países vencedores como los vencidos decidieron construir la paz a base de prepararse para una futura guerra.

Finalmente, en 1921 Millikan pudo reincorporarse a la vida académica. Pero su participación en el Consejo Científico Nacional marcó su futuro. El presidente del consejo y uno de los científicos con más empuje y renombre del país, G. E. Hale, consiguió durante la guerra establecer fon-

dos de la Fundación Rockefeller para el desarrollo de una gran universidad científica y tecnológica en Pasadena, California, que sería conocida con el nombre de Caltech. Su colaboración con Millikan en el consejo le empujó a proponerle como director del laboratorio Norman Bridge de física de esta institución. Al igual que había sucedido en Chicago, Millikan por segunda vez aceptaba un trabajo en una universidad naciente.

A los 51 años Millikan era una figura científica de prestigio nacional e internacional, con lo que no le resultó difícil hacerse con un buen plantel de jóvenes investigadores, algunos estudiantes suyos en Chicago, para «poner California en el mapa de la física mundial». La concesión del premio Nobel a Millikan en 1923 añadiría un impulso de prestigio a su tarea al frente de Caltech, que era conocida por el gran público como la escuela de Millikan. Además, empezó a invitar a profesores de renombre mundial para hacer estancias en Caltech. Por ahí pasaron Michelson, Niels Bohr, Max Born (1882-1970), Paul Dirac, Peter Debye (1884-1966), James Franck (1882-1964), Max von Laue (1879-1960), Paul Langevin (1872-1946), Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg y, cómo no, Albert Einstein. Las visitas de Einstein en los veranos de 1931, 1932 y 1933 se inscriben en una campaña de Millikan para promocionar Caltech a nivel mundial.

¿Cuáles fueron las investigaciones de Millikan a partir de 1921? Viendo su trabajo hasta 1940 se podría decir que Millikan abarcó todos los campos de la física a través de sus estudiantes de doctorado. Una de sus virtudes era la de intuir cuáles eran los problemas que prometían resultados significativos y se los asignaba a sus doctorandos, con quienes desarrollaba los temas. Además, algunos de estos estudiantes pasaron luego a formar parte del claustro de Caltech, e incluso algunos acabaron recibiendo el premio Nobel por sus trabajos. Con todo, Millikan se fue poco a poco centrando en un área en concreto: la investigación en rayos cósmicos.

De hecho, la expresión *rayos cósmicos* fue acuñada por Millikan en 1925. Durante la guerra, además del problema de la detección de submarinos, otra cuestión fundamental había sido la predicción meteorológica, de vital importancia para la estrategia militar. De ahí que Millikan adquiriera interés y habilidad en trabajar con lo que entonces se llamaba Höhenstrahlen o Ultrastrahlen, literalmente «radiaciones de las alturas» o «radiaciones de más allá». Entre 1910 y 1912 el suizo Albert Gockel (1860-

1927), el alemán Walter Kolhörster (1887-1946) y el austriaco Victor Hess (1883-1964) habían empezado a estudiar un tipo de radiación, desconocida hasta entonces, proveniente de la atmósfera. Usando globos aerostáticos, estos científicos apreciaron que la cantidad de carga eléctrica detectada en la atmósfera aumentaba con la altura, lo cual indicaba que la radiación provenía de las capas altas de la atmósfera o, por qué no, del espacio.

Millikan fue el primer, y quizás único, científico americano en dedicar atención al problema de los rayos cósmicos. Para él el problema se presentaba muy sugerente, pues en él se unían varios aspectos: la investigación en rayos cósmicos se relacionaba, en sus técnicas, con la meteorología; se trataba del estudio de aspectos relacionados con las partículas cargadas eléctricamente, tema al cual se había dedicado en Chicago; además, el origen desconocido de tal radiación le daba un halo de misterio al que Millikan no pudo resistirse. El primer problema que Millikan afrontó fue el experimental. Para medir la cantidad de electricidad en el aire a diferentes alturas era necesario subir, para lo cual se usaban globos aerostáticos. La historia había mostrado lo peligroso de tales aventuras cuando, en más de una ocasión, científicos habían perdido la vida por falta de oxígeno o por falta de pericia en el manejo de los globos. Millikan consiguió desarrollar instrumentos de medición automáticos, que no necesitaban la presencia humana, con lo cual se podían enviar globos a mayores alturas.

Estudiar los rayos cósmicos era parte de un gran proyecto que Millikan tenía en mente. Con la aparición de la radioactividad a finales del siglo XIX, los científicos eran conscientes de estar asistiendo a procesos de transmutación de la Materia. Unos átomos se convertían en otros con la emisión de radiaciones positivas (alfa), negativas (beta) o neutras (gamma). Los trabajos de Francis Aston (1877-1945) y Rutherford, en Cambridge y Manchester respectivamente, fueron cruciales para entender mejor el átomo, hasta que, en 1919, no había ninguna duda de que todos los átomos del universo estaban compuestos, además de por electrones, por núcleos de hidrógeno, a los que se llamó protones. Desde ese momento las posibilidades que se abrían en el imaginario científico eran fascinantes: se contemplaba la posibilidad de usar la energía atómica, de sintetizar átomos en el laboratorio, de comprender totalmente la estructura del átomo. Las siguientes palabras de Millikan nos muestran que su interés cósmico está inserto en la pregunta por la constitución de la Materia.

> Con el radio y el Uranio no vemos más que el decaimiento [de los átomos]. Pero en algún lugar, de algún modo, es casi seguro que estos elementos se están formando continuamente. Probablemente están siendo ensamblados ahora en los laboratorios de las estrellas (…). ¿Podremos algún día controlar tal proceso? (…) Si lo conseguimos, ¡será un nuevo mundo para el hombre!

La investigación en rayos cósmicos era, pues, para Millikan, un modo de investigar los procesos que ocurrían en las estrellas, «las fábricas de Dios», como las denominaría. Aquí vemos un elemento interesante de su investigación: Millikan tenía una teoría acerca del origen de la radiación atmosférica, *antes* de emprender su trabajo experimental. Mientras en Europa se discutía no sólo el origen de tal radiación, sino incluso la existencia de ésta, Millikan daba por hecho el origen extraterrestre de la radiación en la atmósfera. De hecho, es significativo que Millikan no pudo demostrar que los rayos cósmicos eran realmente *cósmicos,* pues nunca pudo salir de la atmósfera. Sin embargo, bautizando a la radiación de esta manera ya estaba imponiendo su modo de ver el fenómeno. ¿Cuál era su teoría? Millikan consideraba que, en el proceso de formación de los diversos elementos en los altos hornos de las estrellas, se emitían diversos tipos de radiación que serían como el desecho de tales procesos. Su estudio nos daría, pues, información sobre la formación de los átomos. Los rayos cósmicos serían como «los gritos del nacimiento de los átomos-bebé».

Este enfoque tenía consecuencias que trascendían lo meramente empírico. En el primer tercio del siglo XX el debate sobre el evolucionismo estaba llegando a uno de sus picos históricos. El mundo parecía ser un organismo dinámico, inacabado, en constante cambio. Para algunos, dando un salto de dudosa legitimidad filosófica, esto era señal evidente de que la ciencia estaba, finalmente, haciendo innecesaria la existencia de un Dios providente: el mundo era autónomo y evolucionaba siguiendo sus propias leyes. Como reacción contraria, desde algunos sectores del protestantismo americano se intentaba poner en ridículo cualquier teoría que implicara evolución. Millikan estaba entre dos aguas. Por una parte, por tradición familiar, era un ferviente cristiano de la iglesia congresional, con lo cual tenía una fe firme en la existencia de un Dios creador y providente; por otra parte, la radioactividad y otros fenómenos físicos le habían convencido de que en la naturaleza se daba evolución. Su teoría sobre el origen de los rayos cósmicos era, para él, un modo de armonizar ambos aspec-

tos. Si los rayos cósmicos eran el resultado de la continua formación de nuevos elementos, Millikan podía pensar en estos procesos como una muestra de la constante acción de Dios en el mundo.

Del proyecto de rayos cósmicos se obtuvo un resultado inesperado. El joven investigador C. D. Anderson (1905-1991) estaba fotografiando las trayectorias de los rayos cósmicos en su paso por una cámara de niebla. Para determinar la carga de la radiación, tanto la de origen cósmico como la de origen radioactivo, se aplicaba un campo magnético a la cámara de niebla. Los campos magnéticos curvan las trayectorias de las partículas en un sentido u otro según la carga que éstas tengan. En el verano de 1932, Anderson se topó con un tipo de radiación extraña: atendiendo a su masa, las partículas que estaba detectando eran electrones; pero su carga era positiva, con lo que tenían que ser protones. Cabía una tercera interpretación, a la que Millikan se resistía, y que finalmente Anderson se atrevió a publicar: las trayectorias correspondían a electrones positivos, a los que se llamó positrones. Así, había que añadir una nueva partícula elemental a las ya existentes, protón, electrón y fotón. El descubrimiento del electrón positivo le valió a Anderson el premio Nobel de 1936, lo que Millikan utilizaría, una vez más, para dar renombre universal a su laboratorio, el Norman Bridge, y su universidad, Caltech.

En esta época Millikan se fue volviendo más inaccesible y, de algún modo, arrogante. Su teoría de los rayos cósmicos no era bien vista por muchos científicos que la consideraban poco fundada. Millikan interpretaba las críticas a la teoría como ataques personales, a los que correspondía con exabruptos en la prensa o en los congresos. Especialmente intensa fue la disputa pública que mantuvo con otro premio Nobel americano, Arthur Compton (1882-1962), acerca de la composición de los rayos cósmicos, durante la década de los años 30, de la que Millikan salió derrotado. La composición de los rayos cósmicos se mostró mucho más compleja de lo que Millikan había intuido. Tras una rectificación pública, Millikan empezó a escribir su autobiografía con el objetivo de reestablecer su fama. El resultado fue un libro excesivamente hagiográfico, lleno de alabanzas propias, y que sólo destacaba sus éxitos científicos, sociales y políticos. Su disputa con Compton apenas se menciona.

Los últimos capítulos de la autobiografía de Millikan son manifiestos sobre la paz, el valor de la ciencia y de la religión. Demasiado mayor para

tener una participación activa en la Segunda Guerra Mundial, Millikan se dedicó a abogar por la paz. Pero no una paz a cualquier precio, sino una paz fruto de la libertad y del internacionalismo. Por ello no veía contradicción alguna entre sus manifestaciones pacifistas y su aprobación de la investigación militar. Tras la guerra defendería la realización del servicio militar obligatorio si éste consistía en un periodo de educación para la paz, único modo, según él, de evitar una tercera Guerra Mundial. Millikan murió en diciembre de 1953.

Bibliografía

Goodstein, J. R.: *Millikan's School. A history of the California Institute of Technology,* Norton & Co., New York, 1991.

Kargon, R. H.: *The Rise of Robert Millikan,* Cornell University Press, Ithaca, 1982.

Kevles, D. J.: *The Physicists. The history of a Scientific Community in Modern America,* Harvard University Press, Cambridge, 1971.

Michel, J. L.: «The Chicago Connection: Michelson and Millikan, 1894-1921», en Goldberg, S. and Stuewer, R. H.: *The Michelson Era in American Science, 1870-1930,* American Institute of Physics, New York, 1988.

Millikan, R. A.: *The Autobiography of Robert A. Millikan,* Macdonald, London, 1951.



Louis de Broglie
UN PRÍNCIPE REVOLUCIONARIO

París, final del siglo XIX. Han pasado cien años desde que la Revolución Francesa decapitara al rey y, con él, a gran parte de la nobleza francesa. La Academia de Ciencias de París, qua había sido fundada y subvencionada por el poder real, ha sufrido una profunda transformación tras su liquidación por el poder revolucionario y su posterior restauración por Napoleón. La ciencia en Francia ya no es un asunto de aristócratas, sino de servidores públicos formados en lugares como la Ecole Normal Supérieure. París es el centro del mundo cultural: artistas, inventores y escritores procedentes de toda Europa y América se agolpan en pequeños apartamentos y en las buhardillas de la ciudad en busca de inspiración. De ahí saldrán Picasso, Degas, Matisse, Hemingway, Toulouse-Lautrec y tantos otros.

De las veinticinco mil familias nobles que había en Francia antes de la revolución, quedan sólo cinco mil. La mayoría de ellas son conservadoras y mantienen el deseo de la reinstauración de la monarquía; pero, sobre todo, son muy patrióticas. De ahí que sus miembros tiendan a ocupar altos cargos en la administración del Estado y en el Ejército, y huyan de trabajos que consideran serviles como la medicina o la ciencia. Una de estas familias era la de los De Broglie, linaje procedente de Italia, que se había establecido en Francia en el siglo XVII. Desde el siglo XVIII todos los descendientes de la familia recibían el título de príncipe, y el heredero pasaba a ser duque. El quinto duque De Broglie, Victor (1846-1906) tuvo cinco hijos: Albertina, Maurice, Philippe (que moriría siendo niño), Pauline y Louis.

Louis Victor Pierre Raymond de Broglie nació en 1892. Su hermana mayor ya había abandonado el hogar paterno, con lo que compartió su

infancia con Maurice y Pauline. La familia dividía su tiempo entre su residencia en la capital, donde servían unos cuarenta criados, mayoritariamente de origen inglés, su castillo de Saint-Amadour en Anjou, la villa en Dieppe o la gran finca en la localidad de Broglie, a 150 Km. de París. También era habitual pasar la temporada de caza en Inglaterra. Con este trajín, Louis, igual que sus hermanos, fue educado por tutores particulares que podían proseguir la educación de los niños en las distintas residencias. El hermano mayor, Maurice, hizo los estudios secundarios en el exclusivo College Stanislas y después estudió ciencias y matemáticas en la Ecole Navale. Como heredero de la familia, era de esperar que Maurice siguiera una carrera militar, pero su interés por la ciencia era mayor y, en 1908, tras la muerte de su padre, abandonó definitivamente la Armada. Convertido en sexto Duque de Broglie a los 31 años de edad, Maurice de Broglie ganó la libertad que antes no había tenido para dedicarse a la ciencia, pero también recayó sobre él la responsabilidad de la educación de sus hermanos Pauline y Louis, todavía menores de edad.

La formación de Louis fue distinta de la de su hermano. Acudió al Lycée Janson de Sailly, una escuela estatal que Maurice conocía bien, donde le acompañó uno de sus preceptores particulares, el Padre Chanet. En la universidad primero estudió historia, de la cual quedó muy decepcionado por la falta de profundidad que percibió. El paso siguiente fue tomar un curso de *matemáticas especiales,* lo cual era un primer paso para el estudio de la física, especialmente de la física teórica. Pero quien de verdad introdujo a Louis en la física fue su hermano Maurice.

Al abandonar la Armada, Maurice de Broglie decidió instalar un laboratorio de física en su casa de París, a la cual se había trasladado con su esposa. La tradición de tener un laboratorio en casa, aunque no muy común en el siglo XX, tenía raíces aristocráticas. Hoy en día asociamos la investigación científica a laboratorios dependientes de la universidad o de grandes industrias. Sin embargo, antes de 1830 no existía tal concepto de laboratorio. La ciencia era una cosa privada de aristócratas y filósofos que tenía lugar en casa. Las Academias como la Royal Society de Londres o la Académie des Sciences de París eran lugares de reunión de la nobleza científica para discutir los últimos avances. Ya hemos visto en capítulos precedentes cómo esta situación va cambiando en el siglo XIX. Las universidades y las industrias comienzan a instalar sus centros de investigación, y los laboratorios particulares pasan a formar parte de la ciencia *amateur.* Se po-

dría decir que el laboratorio de Maurice de Broglie fue quizás el último laboratorio particular donde se hizo ciencia de alto nivel. Esto fue posible, en parte, gracias a la fortuna familiar que le permitía adquirir los cada vez más caros instrumentos científicos.

Maurice se dedicó a experimentar en las nuevas áreas de los rayos X y del efecto fotoeléctrico, y llegó a tener tal prestigio internacional que fue invitado a participar en el primer congreso Solvay, en 1911. Estos congresos fueron una iniciativa de Ernest Solvay, un científico, industrial y filántropo belga. A las reuniones, que tenían lugar en Bruselas, asistían, sólo por invitación, los físicos más relevantes del momento. El congreso de 1911 serviría para discutir la recién formulada teoría de la relatividad, y a él asistieron gente de renombre como Pierre Langevin, Henri Poincaré (1854-1912), Max Planck, Marie Curie (1867-1930), Ernst Rutherford o Albert Einstein.

Las visitas de Louis al laboratorio de su hermano fueron incrementando su interés por la física y, tras ver las actas del congreso Solvay que Maurice estaba editando, decidió empezar a estudiar física por su cuenta. Encerrado en alguna habitación de la casa, Louis fue devorando libros de física y matemáticas, con lo que llegó a ser un completo autodidacta en la materia, a la vez que su interacción social se fue reduciendo. En palabras de su hermana, Louis se convirtió en un «científico austero que llevaba una vida monástica». Se presentó a los exámenes de la universidad y los aprobó sin problemas en 1913.

Al año siguiente estalló la Gran Guerra y los hermanos de Broglie se alistaron en el ejército. Maurice, científico experimentado, fue destinado al Ministerio de Inventos en París, mientras que el joven Louis consiguió un puesto en la estación de telegrafía inalámbrica situada en la Torre Eiffel. De este modo, y gracias a la influencia familiar en el ejército, Louis evitó ser enviado a las trincheras que se cobraron la vida de tantos jóvenes. Sin embargo, los seis años que pasó movilizado por el ejército fueron, según él, una pérdida de tiempo que interrumpió sus meditaciones científicas, aunque, para ser justos, su trabajo en telegrafía no estaba tan lejos de sus intereses científicos.

Al terminar la guerra Louis empezó a trabajar en el laboratorio de su hermano, haciendo estudios sobre rayos X, tratando de relacionar los patrones de absorción de rayos X con la teoría atómica de Bohr reciente-

mente formulada. El laboratorio de Maurice se convirtió en una escuela libre, desvinculada del mundo universitario, y su prestigio fue creciendo a la par que sus instalaciones. De ahí salieron científicos influyentes en Francia como Jean-Jacques Trillat (1899-1987), Jean Thibaud (1901-1960) o Louis Leprince-Ringuet (1873-1958). Los experimentos de Maurice en rayos X le llevaron a confirmar la teoría de Eisntein del efecto fotoeléctrico en 1921, concretamente en lo referente al carácter dual de la radiación electromagnética. Los rayos X, normalmente considerados como ondas, se comportaban en ocasiones como corpúsculos.

El joven Louis empezó a intuir que este comportamiento dual no era exclusivo de la radiación electromagnética. Si se podía hablar de *átomos de luz,* por qué no hablar también de *ondas de materia.* Razonando por analogía, Louis de Broglie propuso que todo átomo, sea de luz o de materia, es acompañado de una onda. Esta onda sería particularmente evidente en partículas muy pequeñas; es decir, en electrones. En 1923 publicó tres artículos en los *Comptes Rendus* de la Académie des Sciences, y al año siguiente recibió el grado de doctor en la Sorbona de París con su tesis titulada *Investigaciones en la teoría de los cuantos.* Ésta es una de las más famosas tesis de la historia de la física por su carácter revolucionario y por la reacción de los examinadores: todos tuvieron que admitir su incapacidad para juzgar la tesis. Uno de ellos, el eminente Langevin, le sugirió que enviara la tesis a Einstein. Éste vaticinó que la tesis de Louis de Broglie estaba «levantando una esquina del gran velo».

La idea de Louis de Broglie causó el impacto que Einstein y Langevin predijeron y se convirtió en una de las bases de la nueva mecánica cuántica. Para 1926 Erwin Schrödinger había usado el principio de dualidad para formular una mecánica ondulatoria de los cuantos; es decir, una formulación de la física según la cual las ondas de luz y de materia estaban cuantificadas (su energía tenía valores discretos), lo cual explicaba su comportamiento como corpúsculos. Ya en un capítulo anterior hemos visto las discusiones y posterior síntesis entre la formulación de Schrödinger y la propuesta alternativa de Heisenberg y Bohr.

La dualidad onda-corpúsculo rompía uno de los conceptos tradicionales de la física clásica y, de algún modo, de lo que podríamos llamar el sentido común físico. Newton y Dalton habían impuesto una total separación entre materia y espacio, entre materia y energía. Los corpúsculos, con

dimensiones finitas y bien delimitadas, constituían la materia inerte, inactiva, muerta. La energía cinética era exterior a los corpúsculos y se transmitía en forma de movimientos ondulatorios o de colisiones entre partículas. Pero de Broglie estaba uniendo los dos conceptos. Partícula y onda, materia y energía pasaban a ser dos aspectos complementarios del mundo material. Se trataba de un salto conceptual de gran trascendencia y totalmente en acuerdo con la idea de Eisntein de que la materia y la energía están relacionadas según una constante: la velocidad de la luz.

Ya en 1924 empezó a haber voces que pedían para Louis de Broglie el premio Nobel de física. Pero este premio no suele darse sólo por grandes ideas, sino que éstas deben ir acompañadas de resultados experimentales que las avalen. En el caso del principio de de Broglie era evidente que, para su comprobación experimental, era necesaria la medición de la onda asociada a alguna partícula. Sin esto, el principio de de Broglie se quedaba en una idea interesante. El paso obvio era estudiar el movimiento de los electrones y ver si se comportaban como onda en algunas circunstancias. En concreto, se trataba de investigar el comportamiento de los haces de electrones al pasar por una apertura pequeña. Si los electrones eran ondas, se observaría difracción, análogamente a lo que sucede con la luz: al pasar por pequeños orificios se puede observar un patrón de luces y sombras, fruto de la difracción. Por otro lado, si los electrones eran sólo partículas, el haz no presentaría ningún patrón, sino que todos los electrones aparecerían en línea recta al otro lado del orificio.

Los experimentos no se hicieron esperar. En 1927 dos investigadores anunciaron independientemente la observación de difracción en haces de electrones. Clinton Davisson (1881-1958), investigador en los laboratorios Bell de Nueva Jersey, y George P. Thomson, hijo de J. J. Thomson, director del recién fundado laboratorio de física de la universidad de Aberdeen (Escocia), hallaron resultados similares. Ambos observaron que, en determinadas circunstancias, los electrones se comportaban, no como partículas, sino como ondas. Es interesante hacer notar que nadie en el laboratorio de Maurice fue capaz de medir la difracción, lo cual seguramente habría valido la fama a los dos hermanos. En 1929, Louis de Broglie recibió el premio Nobel de física, el mismo año que el escritor alemán y amigo de la familia Thomas Mann recibía el Nobel de literatura. Los experimentos de Davisson y Thomson ponían las bases de un instrumento vital para la ciencia del siglo XX: el microscopio electrónico.

De todos modos, de Broglie, al igual que Einstein, pasó a formar parte de los vencidos en el desarrollo de la Mecánica Cuántica. En el congreso Solvay de 1927 se impusieron las tesis de Bohr y Heisenberg en la llamada interpretación de Copenhague de la Mecánica Cuántica. Como vimos en un capítulo anterior, una de las tesis fundamentales de tal planteamiento fue el abandono del determinismo realista; es decir, lo único que interesaba eran los estados inicial y final de un sistema físico (que, en definitiva, son los únicos que se pueden medir) sin atender a los procesos o mecanismos intermedios entre los dos estados. La interpretación de Copenhague era probabilista y, por lo tanto, indeterminista. No había razones aparentes por las cuales un determinado estado final fuese el resultado necesario de un determinado estado inicial. De Broglie aceptó sólo a regañadientes esta interpretación, ya que con ella la dualidad onda-corpúsculo perdía parte de su significado metafísico.

En 1931 Louis de Broglie fue nombrado catedrático de física en La Sorbonne de París. Los alumnos que asistían a sus clases y seminarios eran testigos de una formalidad algo trasnochada para su tiempo. De Broglie leía la clase que previamente había escrito y, en caso de querer hacer preguntas, había que pedir cita con antelación. Como resultado, nunca llegó a crear escuela: había demasiada distancia entre él y sus discípulos. Este aislamiento fue una característica de toda su vida. Al morir su madre, en 1928, vendió la casa familiar y se trasladó a una residencia mucho más pequeña en la que pasó toda su vida. Apenas viajó: de hecho, su viaje a Estocolmo para recibir el premio Nobel fue una de sus pocas salidas al extranjero, junto con los congresos Solvay de 1927 y 1933, en Bruselas, y algún viaje a Inglaterra. Nunca se casó, y pasó su vida entre sus obligaciones académicas y la escritura de libros de física.

El asilamiento de Louis no fue necesariamente fruto de la timidez, sino parte de su formación aristocrática. Mientras que su hermano Maurice había decidido dedicarse a la ciencia como un aristócrata, montando su propio laboratorio, Louis optó por integrarse en el mundo académico público. Su nombramiento en La Sorbonne le convirtió en un funcionario público, algo no del todo adecuado para alguien formado entre los algodones de la aristocracia. Sus modos, su educación y sus costumbres le distanciaron un poco del resto de la comunidad científica, en parte también porque no necesitaba hacer carrera: su condición de aristócrata, unido a su premio Nobel, le eximieron de la necesidad de llegar a acuerdos y compromisos con otros científicos.

Poco a poco Louis fue quedando al margen de los grandes desarrollos de la física teórica, a la que, sin embargo, quería contribuir con ideas nuevas. La más relevante de estas ideas fue su propuesta, en 1934, de una nueva teoría de la luz. Los años 1932-1934 fueron muy interesantes en lo que respecta a nuestra *biografía de la Materia.* James Chadwick (1891-1974), en Cambridge, había detectado el neutrón por primera vez, mientras que Carl Anderson, trabajando con Millikan en rayos cósmicos, había tomado la primera fotografía de un electrón positivo. Una tercera partícula elemental aparecía en escena: el neutrino. De ella hablaremos en el capítulo siguiente. Louis propuso que el fotón, conocido desde principios de siglo, podía ser concebido, no como una partícula elemental, sino como dos partículas, en concreto dos neutrinos. No había ninguna razón experimental que llevara a tal hipótesis. Se trataba más de una especulación teórica que surgía de algunas limitaciones matemáticas que tenía la ecuación de onda del fotón. La teoría no prosperó, aunque de Broglie la mantuvo hasta bien entrada la década de 1950.

En 1939 estalló la guerra y Francia fue invadida por los alemanes, instaurando el llamado régimen de Vichy al frente del cual estaba el mariscal Pétain. Miembro eminente de la comunidad científica francesa, Louis de Broglie no quiso colaborar activamente con el régimen nazi, aunque tampoco hizo claras manifestaciones en contra. Esta neutralidad le permite seguir trabajando en sus investigaciones de física teórica, especialmente sus ideas acerca de la luz, y en su concepción metafísica del mundo.

El laboratorio de Maurice desapareció al terminar la guerra. Se trataba de una iniciativa particular que no iba a tener la continuidad que sí tuvo otro laboratorio parisino, el del matrimonio Curie. Louis, más interesado por la física teórica, no tenía ningún interés en continuar el laboratorio experimental de su hermano. Maurice murió en 1960 sin descendencia, y el príncipe Louis se convirtió en el séptimo duque de Broglie.

Louis de Broglie pertenece al grupo de científicos superados por las revoluciones que ellos mismos instigan. A pesar de proponer la dualidad onda-corpúsculo, siempre creyó que la partícula era más fundamental que la onda asociada a ella. En el fondo, la Materia estaba compuesta de partículas (electrones, protones, neutrones…) cuyo comportamiento podía ser entendido como ondulatorio. Sin embargo, la nueva mecánica cuántica dio un salto y consideró que ambos aspectos eran esenciales a los componentes estructurales de la Materia.

El aislamiento intelectual de de Broglie fue creciendo con el tiempo. Esto no le impidió, sin embargo, ser maestro de toda una generación de físicos franceses que encontraban estímulo en su manera de afrontar los problemas físicos. Mientras la física moderna se estaba convirtiendo en un campo extremadamente formal, en el que las ecuaciones matemáticas lo eran todo, de Broglie mantenía una metodología visual: para él, las ecuaciones eran un instrumento, pero no el objetivo final de la física. Los problemas físicos tenían que poder ser *vistos* utilizando modelos más o menos mecánicos. No es de extrañar que este modo de proceder fuera especialmente atractivo para las corrientes marxistas, que tanta influencia intelectual tuvieron en la Francia de los años 50 y 60 del siglo XX. Para ellos, la física tenía que ser material, los modelos físicos debían ser visuales, mecánicos. Las aproximaciones eminentemente matemáticas corrían el peligro de alejarnos de la realidad y, por lo tanto, de convertirse en métodos idealistas y burgueses. Se da la ironía, pues, de que el duque Louis de Broglie se convirtió, a pesar suyo, en el modelo de científico marxista en Francia.

En su octogésimo cumpleaños, en un acto organizado por la Academia de Ciencias de París, de Broglie admitiría que toda su vida había pivotado alrededor de una idea central: la dualidad onda-corpúsculo. A esa edad su salud empezó a deteriorarse, con lo que fue limitando su actividad. Louis de Broglie murió el 19 de marzo de 1987 a los 95 años de edad.

Bibliografía

Abragam, A.: «Louis Victor Pierre Raymond de Broglie», *Biographical Memoirs of the Fellows of the Royal Society,* 34, 1988, 23-41.

Lochak, G.: *Louis de Broglie. Un prince de la science,* Flammarion, París, 1992.

MacKinnon, E.: «De Broglie's thesis: a critical retrospective», *American Journal of Physics,* 44, 1976, 1047-55.

Nye, M. J.: «Aristocratic Culture and the Pursuit of Science. The de Broglies in Modern France», *ISIS,* 88, 1997, 397-421.



Lise Meitner
El átomo se rompe

Viena, capital de un imperio que abarca media Europa. Ya hemos estado ahí. A final del siglo XIX, la ciudad era uno de los centros culturales y políticos del mundo que, como en el canto del cisne, esperaba el inevitable final del imperio. Músicos, pintores, escritores y arquitectos plasmaban en su arte las tensiones que sufría la Modernidad y la decadencia que se respiraba en el Imperio Austro-Húngaro. Este ambiente era propicio al desarrollo intelectual y científico dentro y fuera de la universidad. Sólo un sector de la población tenía las puertas cerradas al mundo cultural: las mujeres. Siendo un país tradicional y conservador, las mujeres sólo fueron admitidas en la universidad en 1897. Antes de esa fecha las mujeres debían poner punto final a su formación intelectual a los 14 años.

Otro colectivo en creciente amenaza era la población judía. Junto a los esfuerzos del emperador Francisco José por aunar las diversas sensibilidades nacionales, religiosas y étnicas que habitaban el imperio, a finales del siglo XIX se dio un fuerte movimiento asimilacionista por parte de los judíos. Deseosos de ser considerados ciudadanos de pleno derecho, muchos judíos abandonaron su religión y sus tradiciones para adoptar los modos de vida de la mayoría cristiana. Este movimiento no fue bien recibido por la burguesía tradicionalista de Viena, donde, en 1897, un radical antisemita fue elegido para la alcaldía y, con ello, se truncaron las expectativas de asimilación entre la comunidad judía.

Lise Meitner nació en Viena en 1878, tercera hija de una familia judía procedente de la región de Moravia. Mujer y judía, las perspectivas para una carrera científica eran prácticamente nulas. Pero, como dijo al final de

su vida, «no hace falta que la vida sea fácil, siempre y cuando ésta no esté vacía». Su padre perteneció a la primera generación de judíos a los que se les permitió estudiar derecho y ser admitidos en el ejercicio de la profesión. En la casa familiar el ambiente era muy típico de la época: junto con una gran apreciación por la cultura en sus más variadas formas, reinaba un cierto escepticismo en lo referente a la filosofía y, sobre todo, a la religión. De este último tema las conversaciones eran mínimas y, aunque el barrio en el que vivían era de mayoría judía, la familia Meitner intentaba seguir el patrón asimilacionista, distanciándose de la comunidad. Lise y la mayoría de sus siete hermanos se bautizaron como cristianos (católicos algunos, protestantes otros) una vez alcanzada la edad adulta.

La apreciación por la cultura en casa de los Meitner no admitía distinción de género. Lise y sus hermanas recibieron educación secundaria y tenían la mirada puesta en la universidad para cuando ésta abriera sus puertas a las mujeres. Así, Lise formó parte de uno de los primeros contingentes de mujeres que se incorporaron a la universidad vienesa tras 1897. Desde muy joven, Lise había mostrado interés por la naturaleza, de modo que no fue ninguna sorpresa cuando le pidió a su padre poder estudiar ciencias naturales en la universidad. Allí tuvo la suerte de contar con uno de los mejores profesores de física que Austria ha conocido: Ludwig Boltzmann.

Lise Meitner terminó sus estudios de licenciatura y doctorado (el doctorado en las universidades austriacas duraba sólo unos meses) a principios de 1906, siendo una de las primeras Fräulein Doktor de Austria. Tras el doctorado, sus posibilidades eran muy limitadas. El gobierno austriaco había abierto la universidad a las mujeres con la única intención de formar profesoras para los colegios femeninos. Así, la única salida para Meitner fue empezar a trabajar en educación secundaria, trabajo que compaginó con estudios en radioactividad bajo la dirección de Stefan Meyer (1872-1949), discípulo de Boltzmann y sucesor suyo al frente del instituto de física. Pero las perspectivas de investigación para una mujer en Viena eran tan limitadas que decidió trasladarse a Berlín en busca de mejores posibilidades.

Berlín no era una ciudad mucho más amigable para la carrera intelectual de las mujeres que Viena. Sin embargo, tras la muerte de Boltzmann, Meitner creyó que Max Planck era la persona de la que más podía aprender física en el mundo de habla alemana. Así, empezó a asistir como oyente a sus

clases, a la vez que buscó el modo de trabajar en el laboratorio de física experimental, a cargo del profesor Heinrich Rubens (1865-1922). En las clases de Planck, Meitner oyó por primera vez las nociones elementales de la primitiva física cuántica. Planck había introducido un principio nuevo en la física en 1900 que revolucionaría la ciencia en las décadas siguientes: el cuanto de energía. Según Planck, la energía de las radiaciones no podía tomar cualquier valor, no era continua, sino que tomaba valores discretos. Ésta sería la primera piedra en el entramado de la física cuántica.

Pronto se le concedió a Meitner el privilegio de trabajar en el laboratorio del Instituto de Física, donde conocería al que sería su más estrecho colaborador en los siguientes treinta años: Otto Hahn (1879-1968). Químico de formación, Hahn había pasado un año en Montréal aprendiendo las técnicas de separación de materiales radioactivos con Rutherford. De vuelta en Berlín, su objetivo era seguir trabajando en radioactividad, pero nadieen la capital alemana se dedicaba a esta disciplina. De ahí su alegría al conocer a Meitner, cuya formación en física y su conocimiento de la radioactividad era un complemento ideal a la formación de Otto Hahn (1879-1968). Aunque los dos formaban el equipo ideal para el desarrollo de la radioactividad en Berlín, el Instituto de Física no estaba todavía preparado para tener una mujer entre sus empleados. La única solución de compromiso que se encontró, dada la insistencia de Hahn, fue que Meitner trabajara en el sótano, con la condición explícita de que no pusiera pie en otras dependencias del laboratorio. Y así empezó a trabajar.

En 1912, Meitner y Hahn se trasladaron a las nuevas instalaciones del Kaiser Wilhelm Institut, momento en el que Max Planck aprovechó para forzar que se reconociera el trabajo de Meitner y se le diera una plaza de investigadora, convirtiéndose en la primera mujer investigadora de la historia de Prusia. En 1919 llegaría a ser catedrático. El trabajo de Meitner y Hahn se centró en la investigación sistemática del comportamiento de todos y cada uno de los elementos radioactivos conocidos en la época, unos veinte. Algunos elementos emitían radiación negativa (electrones) mientras que otros emitían radiación positiva (partículas alfa: núcleos de helio). Uno de los esfuerzos de esta primera época consistía en aislar posibles sustancias radioactivas. Si un determinado material emitía diversos tipos de radiaciones, era posible que tal material estuviera compuesto de varios elementos radioactivos. La tarea de separar tales elementos necesitaba de conocimientos físicos y químicos, con lo que la pareja Meitner-Hahn se en-

contraba en una posición privilegiada para tal proyecto, situándose en la vanguardia de los estudios radiactivos junto con el matrimonio Curie en Francia y el laboratorio de Rutherford en Manchester. Además, la pareja Meitner-Hahn representaba muy bien la unión definitiva de las dos tradiciones, la físico-filosófica y la químico-alquímica, que hasta ahora avanzaban en paralelo en la *biografía de la Materia.*

El 28 de julio de 1914, tras el asesinato del heredero de la corona, el archiduque Francisco Fernando, Austria declaró la guerra a Serbia, empezando así la Gran Guerra europea. Mientras Otto Hahn participó directamente en la guerra, primero como soldado y después como científico desarrollando armas químicas, Meitner se quedó en Berlín, donde, además de seguir parte de sus investigaciones, trabajó como técnico de rayos X en diversos hospitales. Muchos de los trabajos en radioactividad tuvieron que ser pospuestos para después de la guerra, pero también se da la ironía de que las condiciones impuestas por la guerra propiciaron algunas investigaciones interesantes. En el campo de concentración de Ruhleben coincidieron un joven estudiante de Rutherford, James Chadwick y un joven ingeniero, Charles D. Ellis (1895-1980). A ambos, ingleses, el estallido de la guerra les sorprendió en Alemania y fueron confinados a un campo de prisioneros. Allí, en vez de resignarse al aburrimiento en espera de tiempos mejores, Chadwick y Ellis instalaron un pequeño laboratorio de física donde siguieron las investigaciones en radioactividad. Meitner mantuvo contacto con ambos, empezando una relación intelectual que se mantendría después de la guerra.

En la década de 1920 la radioactividad era la principal fuente de información de la estructura del núcleo. Tras el modelo atómico de Rutherford y Bohr, según el cual el átomo está formado por un núcleo masivo muy pequeño alrededor del cual orbitan los electrones, la investigación del interior del núcleo fue ganando en importancia. Desde los orígenes de la radioactividad estaba claro que tanto los electrones como las partículas alfa emitidas en los procesos radioactivos tenían su origen en el núcleo. Una conclusión obvia era, pues, que el núcleo estaba formado por electrones y partículas alfa. Estas últimas estarían compuestas, a su vez, por cuatro protones y dos electrones. Así, la Materia estaba compuesta sólo de protones y electrones, con una tercera partícula, el fotón, responsable de las interacciones electromagnéticas. Este modelo, atractivo por su simplicidad, se convirtió en una constante fuente de anomalías, pues algunos da-

tos experimentales que se obtenían no tenían explicación posible en este modelo.

Quizás el rompecabezas más notable en la década de los años 20 fue el del espectro de los rayos beta (los electrones) procedentes de fuentes radioactivas. Dos lugares, Berlín y Cambirdge, y dos nombres, Meitner y Ellis, fueron los protagonistas de una controversia científica fructífera, agitada a veces, que transformó nuestra comprensión del núcleo. La controversia giró entorno al espectro beta de los materiales radioactivos, es decir, a la distribución de energía de los electrones emitidos por sustancias radioactivas. Ellis y Meitner disponían de datos similares, pero sus interpretaciones eran distintas. Conocedora de los postulados de la naciente física cuántica, Meitner creía que los electrones que abandonaban el núcleo sólo podían tomar unos determinados valores fijos de energía. El espectro beta debía, pues, ser discreto. Evidentemente, no es fácil observar tal espectro. El núcleo emite electrones y radiación gamma, los cuales, a su vez, colisionan con electrones de la corteza atómica. Desde fuera, es difícil distinguir qué electrones proceden directamente del núcleo y qué electrones son fruto de procesos secundarios. En Cambridge, Ellis y Chadwick estaban convencidos de que el espectro de electrones nucleares era continuo, es decir, que el núcleo emitía electrones con todos los valores de energía entre un mínimo y un máximo, sin atender a saltos cuánticos. Para Meitner, los resultados de Chadwick y Ellis no tenían sentido, pues contradecían la mecánica cuántica. Los investigadores del Cavendish, por su parte, tenían una gran confianza en la validez experimental de sus resultados. Además, Rutherford, director del Cavendish, no era muy amigo de la nueva física cuántica, con lo que no le importaba que los resultados experimentales contradijeran sus postulados.

Quizás aquí hay que hacer una aclaración: cuando hablamos de que un núcleo emite electrones, hay que tener en cuenta que en el laboratorio no hay núcleos aislados, sino cantidades macroscópicas de elementos, cuyos átomos emiten electrones. Por poca cantidad de Materia radioactiva que tengamos, el número de átomos será del orden de varios billones. Así, lo que se observa en el laboratorio es el resultado combinado de la acción de todos estos átomos. No es de extrañar, pues, que ante resultados experimentales semejantes las interpretaciones sean distintas. Meitner y Ellis *observaban* lo mismo: que el espectro de la radioactividad beta era continuo; pero los dos *veían* cosas distintas.

La discusión entre Berlín y Viena duró casi diez años, hasta que entre 1927 y 1929 se llegó a un acuerdo. Ellis diseñó un experimento que podía poner fin a las discusiones entre él y Meitner. Se trataba de medir la energía por métodos calorimétricos, es decir, midiendo el calor emitido por las sustancias radioactivas. Uno de los elementos radioactivos, el conocido como RaE ($_{83}Bi^{210}$), no emitía electrones secundarios ni radiación gamma, sino que todos los electrones eran emitidos por el núcleo. Si todos los electrones eran emitidos con una misma energía, como proponía Meitner, y la observación de un espectro continuo era debida a colisiones con los electrones de la corteza, la energía medida por calor correspondería al máximo observado (es decir, a la energía que tendrían los electrones antes de las colisiones). Por otro lado, si los electrones eran emitidos por el núcleo con energías variables, el calor detectado correspondería al valor medio de tales energías. Primero Ellis y después Meitner realizaron los experimentos y ambos llegaron a la misma conclusión: los electrones son emitidos, en el origen, con energías que varían desde un valor mínimo a un valor máximo; el espectro era continuo. De este modo se ponían en jaque algunas de las ideas fundamentales de la física cuántica.

El contexto de esta polémica es interesante. Al terminar la Gran Guerra el Imperio Austro-Húngaro se desmembró y Alemania quedó seriamente humillada. El ambiente en las calles de Viena y Berlín no podía ser más desolador: hambruna y desempleo eran la cara visible de una depresión colectiva que se agravó por la actitud humillante de los países vencedores. Esta situación fue caldo de cultivo para el surgimiento de nacionalismos exacerbados. La ciencia alemana necesitaba de grandes figuras y de grandes pasos adelante para animar a la población transmitiendo un mensaje claro: la cultura alemana no está muerta. La polémica entre Meitner y Ellis, entre Berlín y Cambridge tuvo esta situación socio-política como telón de fondo. Meitner aparecía, a los ojos de la opinión pública alemana como la científica que ponía en jaque la ciencia inglesa. Además, como los resultados de Meitner parecían corroborar los desarrollos de la moderna (y germana) física cuántica, esto permitía representar la ciencia inglesa como anticuada. La honestidad de Meitner y su desprecio por las cuestiones políticas favoreció la aceptación de su *derrota* a finales de la década.

El final de la polémica sobre el espectro de la radiación beta abrió, sin embargo, la puerta a problemas mayores. Si los átomos emitían electrones

con energías variables, ¿cómo era posible que su energía antes y después de la emisión fueran siempre las mismas? Una posible solución era el abandono del principio de conservación de la energía, propuesta tremendamente radical que Bohr avanzó, aunque fue recibida con bastante escepticismo. La física había sufrido demasiados cambios en los últimos treinta años como para abandonar un principio básico como el de conservación de la energía. Otra solución igualmente desesperada fue la que propuso Wolfgang Pauli, uno de los padres de la mecánica cuántica, en diciembre de 1930. Pauli propuso que, en la emisión beta, el núcleo emitía una partícula neutra, desconocida hasta entonces, cuya energía correspondería con la que le faltaba al electrón. Así, en cada emisión radioactiva el núcleo emitiría siempre la misma cantidad de energía y ésta se distribuiría de forma variable entre el electrón y la partícula neutra. A esta partícula se la llamó posteriormente neutrino y, aunque se aceptaría su existencia muy pronto, no fue detectada experimentalmente hasta 1956.

La introducción del neutrino coincidió con la detección de otras dos partículas, el neutrón y el positrón (o electrón positivo), como ya hemos visto. Pero también coincidió con un nuevo cambio de mentalidad en cuanto a la naturaleza de las partículas elementales se refiere. En 1933 Enrico Fermi avanzó una teoría que explicaba a la perfección el proceso de emisión beta. Uno de los elementos básicos de la teoría era que en el núcleo no había ni electrones ni neutrinos, sino sólo protones y neutrones. Los electrones y neutrinos se *creaban* en el momento de salir del núcleo, cuando un neutrón se transformaba en protón. Las partículas elementales no eran tan *elementales* como se suponía. Las propiedades que Dalton había dado a sus átomos no las cumplían ni siquiera las partículas más fundamentales de la Materia.

Tras una década dedicada a la radioactividad, los años 30 del siglo XX fueron centrales para la primera comprensión del núcleo atómico. El neutrón se convirtió en la estrella de la física: al tener carga neutra, era relativamente fácil utilizar neutrones para investigar el núcleo, ya que no eran ni atraídos ni repelidos por éste. Meitner en Berlín, al igual que tantos otros laboratorios de física en Europa y algunos en Estados Unidos y Japón, se dedicó a la exploración nuclear con neutrones. Pronto se vio que, a veces, al bombardear núcleos con neutrones, estos últimos eran absorbidos por el núcleo, con lo que éste se trasformaba en otro elemento. Los nuevos núcleos eran inestables, con lo que emitían radioactividad. Así se

pasó a fabricar nuevos elementos radioactivos. Especialmente fascinantes para Meitner eran los elementos trans-uránicos; es decir, aquellos elementos que estaban más allá del Uranio en la tabla periódica.

Para su proyecto, Meitner reflotó su colaboración con Otto Hahn y con un joven químico, Fritz Strassmann (1902-1980). Estaba claro que si la parte física consistía en bombardear átomos con neutrones, se precisaba de los químicos para analizar la identidad de los átomos resultantes. Sin embargo, al igual que en los comienzos, Meitner tuvo que ver cómo sus posibilidades de hacer ciencia estaban en peligro. Esta vez no por ser mujer, sino por ser de raza judía. Las leyes raciales de 1933 forzaron la expulsión de los judíos del mundo académico. Gracias a su nacionalidad austriaca, Meitner pudo permanecer en su puesto, aunque siempre con el temor de ser expulsada. La investigación nuclear se aceleraba mientras que la tensión social aumentaba. Meitner tenía el corazón dividido entre marcharse de Berlín y abandonar sus investigaciones o quedarse, aun a riesgo de su vida.

Los acontecimientos de 1938 fueron determinantes para la humanidad y para la vida de Meitner. Siendo muy próxima la anexión de Austria por parte de Alemania, Meitner tuvo que abandonar Berlín y dejar el proyecto en manos de Hahn y Strassmann. Meitner tenía la sensación creciente de que alguna de las hipótesis que estaba utilizando era incorrecta, pues el comportamiento de los elementos trans-uránicos no coincidía con el esperado. Parece que en una entrevista que mantuvieron Meitner y Hahn en el instituto de Bohr, en Copenhague, Meitner sugirió que volviera a analizar tales elementos con la esperanza de que no fueran realmente elementos trans-uránicos, sino Bario, el elemento 56 de la tabla periódica. De ser así, el resultado de bombardear núcleos con neutrones no sería un elemento de número atómico mayor, sino la ruptura del núcleo. De vuelta en Berlín, Hahn y Strassmann realizaron los análisis que Meitner había sugerido para comprobar que ella tenía razón. Habían roto el núcleo por la mitad.

El manejo de los núcleos atómicos parecía no tener límite. Se podían destruir núcleos utilizando los neutrones como proyectil. La idea no era nueva. Desde que Einstein avanzara su ecuación $E = mc^2$, la ciencia ficción había especulado sobre la posibilidad de transformar Materia en energía, y así disponer de una fuente ilimitada de energía. Pero ahora, a las puertas de la Segunda Guerra Mundial, la ficción se había convertido en ate-

rradora realidad. Puestas las bases científicas de la fisión nuclear, la utilización de tal energía para usos destructivos era cuestión de tiempo.

Meitner pasó la guerra en Suecia, donde fue recibida con una cierta frialdad entre la comunidad científica. Se le ofreció participar en el proyecto Manhattan para fabricar la bomba atómica, pero se negó. Su situación en Suecia fue difícil, no sólo por la falta de apoyo, sino sobre todo, por la gran sensación de injusticia que se apoderó de ella. Hahn y Strassmann no acabaron de reconocer la importancia de las ideas de Meitner en el desarrollo de los experimentos que llevaron a la fisión nuclear. En 1944 se concedió el premio Nobel de química a Otto Hahn, sin ninguna referencia a Meitner.

Al terminar la guerra su posición mejoró y pasó a formar parte activa de lo que se llamó el programa *átomos por la paz.* Tras Hiroshima y Nagasaki, los países involucrados directamente o indirectamente en la fabricación de la bomba atómica se empeñaron en demostrar que la energía nuclear no era intrínsicamente bélica, sino que podía ser utilizada con fines pacíficos, para el desarrollo de la sociedad. Con este trasfondo se desarrollaron los primeros reactores nucleares para uso civil. Meitner participó activamente en la construcción del primer reactor nuclear en Suecia. También dedicó muchos esfuerzos a contar la verdadera historia y su papel en el hallazgo de la fisión nuclear. De todos modos nunca llegó el reconocimiento esperado. En 1960 Lisa Meitner se trasladó a Cambridge, donde murió el 27 de octubre de 1968.

BIBLIOGRAFÍA

CRAWFORD, E.: «A Nobel tale of wartime injustice», *Nature,* 382, 1996, 393-395.

KAUFFMAN, G. B.: «Lisa Meitner (1878-1968)», *Chemical Heritage* 16, 1998, 47-48.

JENSEN, C.: *Controversy and Consensus: nuclear beta decay,* 1911-1934, Birkhäuser, Basel, 2000.

MCLAY, D. B.: «Lise Meitner and Erwin Schrödinger: Biographies of two Austrina physicists of Nobel stature», *Minerva,* 37, 1999, 75-94.

RIFE, P.: *Lise Meitner and the Dawn of the Nuclear Age,* Birkhäuser, Boston, 1999.

SIME, R. L., «Lise Meitner and the discovery of nuclear fission», *Scientific American* 278 (1), 1998, 80-85.
SIME, R. L.: «Lise Meitner: A 20th Century Life in Physics», *Endeavour,* 26, 2002, 27-31.
SIME, R. L.: *Lise Meitner: a life in Physics,* University of California Press, Berkeley, 1996.
YOUNT, L.: *Twentieth-century Women Scientists,* Facts on File, New York, 1996.



Ernest O. Lawrence

Grandes máquinas para pequeñas partículas

A final del siglo XIX, la radioactividad y los rayos X aparecieron inesperadamente y se convirtieron en los instrumentos para el estudio del átomo y, después, su núcleo. Poco más tarde se contó con una nueva fuente de partículas energéticas, los rayos cósmicos, que también dieron pistas sobre la composición de la materia. Estaba claro que la energía que se precisaba para conocer el interior de la materia era inversamente proporcional al tamaño de las partículas a estudiar. Cuanto más pequeña es la partícula, mayor es la energía que se necesita para detectarla. Científicos en Cambridge, París y Berlín habían aprendido a controlar y manipular la radioactividad. El estudio de los rayos cósmicos era todavía muy incierto. En cualquier caso, se intuía que las fuentes naturales de energía tendrían un límite y que pronto habría que intentar *fabricar* radiaciones de alta energía en los laboratorios. Un nombre, el de Ernest O. Lawrence, se ha convertido en el símbolo de la carrera por acelerar partículas a altas energías.

Nacido en Dakota del Sur en 1901, los padres de Lawrence, de origen noruego, eran ambos maestros de escuela. Su enfoque educativo tendía a valorar el esfuerzo y el éxito, dos conceptos que se convirtieron en máximas para Ernest. Siguiendo los pasos de su íntimo amigo, Merle Tuve (1901-1982), decidió estudiar ciencias primero en la universidad de Dakota del Sur y después en la universidad de Minnesota, donde estudió bajo la supervisión de W. F. G. Swann (1884-1962), uno de los físicos más eminentes del momento en el país. Lawrence terminó su tesis doctoral en Yale, en 1924, con un estudio del efecto fotoeléctrico en el

vapor de potasio, y se quedó en aquella universidad como profesor asociado. En Yale, Lawrence ganó fama como físico experimental gracias a la capacidad que tenía de poner en práctica ideas que parecían imposibles al resto de sus colaboradores.

En 1928 se le ofreció una plaza de profesor en la universidad de Berkeley, California. Hoy en día Berkeley es una de las universidades con más prestigio del mundo, especialmente en las ciencias experimentales. Sin embargo, en la década de 1920 Berkeley era todavía una pequeña y joven universidad del oeste americano que aspiraba a convertirse en un gran centro de investigación. Las universidades del este como Princeton, Yale y Harvard veían con condescendencia los esfuerzos del oeste y, por eso, trataron de disuadir a Lawrence de aceptar la oferta. Pero para un joven emprendedor como Lawrence, trasladarse al oeste tenía su atractivo: allí todo estaba por hacer, de manera que uno podía sentar las bases de su proyecto investigador a su manera. Además, tras el esfuerzo científico de la Primera Guerra Mundial, el Consejo Nacional de Investigación había señalado el desarrollo de las universidades del oeste como una de sus prioridades, de manera que no faltaba el apoyo institucional y económico para llevar a cabo tal desarrollo.

Otro elemento significativo del desarrollo de California tras la Primera Guerra Mundial fue el auge de la industria energética: el petróleo y la electricidad. Los primeros interesados en el desarrollo de universidades científicas y técnicas eran las propias compañías energéticas. En los años 20 y 30 se construyeron presas para la generación de electricidad y hacía falta gente preparada para el manejo de las centrales hidroeléctricas. Los físicos como Millikan veían en esta simbiosis una buena oportunidad para el desarrollo de laboratorios de altas energías. Estos laboratorios tenían un gran interés para la física teórica y el estudio de radiaciones, pero también prometían ser una fuente de nuevas terapias médicas, como lo había sido la radioactividad desde sus orígenes.

Las condiciones de trabajo que Berkeley ofreció a Lawrence eran inmejorables: buen sueldo, pocas horas de clase, libertad de investigación, recursos económicos, y la posibilidad de ser catedrático a la temprana edad de 27 años. Al llegar a Berkeley, Lawrence siguió trabajando en el efecto fotoeléctrico. Pero también empezó a familiarizarse con generadores de alto potencial y los tubos de vacío que había en las instalaciones de la Ge-

neral Electric, una de las mayores compañías eléctricas del país. Ahí constató las dificultades teóricas y prácticas de generar potenciales del orden del millón de voltios.

La carrera por generar altos potenciales para el estudio del núcleo atómico había comenzado pocos meses antes en Cambridge. Animado por los cálculos teóricos de George Gamow, que señalaban la posibilidad de desintegrar el átomo con partículas aceleradas a un millón de voltios, Rutherford decidió que dos investigadores del Cavendish, en Cambridge, John Cockcroft (1897-1967) y Ernest Walton (1903-1995), emprendieran la tarea de construir una máquina capaz de imprimir una energía de un millón de voltios a protones y partículas alfa. Acelerar partículas es, en teoría, relativamente fácil. Las partículas cargadas eléctricamente se desplazan dentro de un campo eléctrico. El único límite, pues, para le energía de una partícula reside en la intensidad del campo eléctrico. Sin embargo, en la práctica, hay un problema muy importante. Si el campo eléctrico entre los extremos de un tubo es suficientemente intenso, el aire se vuelve conductor, se da una descarga eléctrica y, como resultado, el campo eléctrico desaparece. Es lo que sucede, por ejemplo, en los relámpagos. El gran reto de Cockcroft y Walton era, pues, no tanto el de conseguir un campo eléctrico intenso, sino el de mantenerlo estable. Un primer paso evidente era construir un tubo de vacío para evitar que el aire del interior se volviera conductor. Cuanto mejor el vacío, más probabilidades había de mantener el campo eléctrico.

En 1932 Cockcroft y Walton consiguieron realizar la primera desintegración nuclear con el acelerador lineal aunque, para sorpresa suya, no hizo falta llegar al millón de voltios, sino que bastó con menos de la mitad. De hecho, el millón de voltios parecía inasequible, pues siempre había descarga antes de llegar a esa cantidad. Para entonces, Lawrence había empezado a pensar y a construir aceleradores de partículas a partir de una idea totalmente nueva. El acelerador lineal de Cockcrof y Walton pretendía proporcionar toda la energía de una vez, y por eso hacía falta un campo eléctrico muy intenso. Lawrence buscó la manera de proporcionar mucha energía a base de pequeños, pero constantes, impulsos. Y la idea que tuvo fue la de compaginar los efectos del campo eléctrico y del campo magnético sobre las partículas cargadas eléctricamente.

Un campo eléctrico es capaz de proporcionar energía a las cargas y aumentar su velocidad lineal. Por su parte, el efecto de un campo magnético

sobre las cargas es el de curvar su trayectoria. Lawrence pensó confinar los protones a una trayectoria circular gracias a un campo magnético. En un punto del recorrido un campo eléctrico aumentaría la velocidad de los protones. Así, en cada vuelta, la velocidad de las partículas aumentaría sin necesidad de que lo hiciera el campo eléctrico. En principio, se podían imprimir tantos impulsos como se quisiera y, por lo tanto, no había límite a la velocidad de las partículas. El acelerador así construido recibió el nombre de ciclotrón. En 1932, con la colaboración de sus asistentes Livingston y Lewis, Lawrence puso en marcha el primer ciclotrón, consiguiendo acelerar protones hasta el millón de voltios.

A partir de aquí, Lawrence tuvo que afrontar dos tareas nada fáciles: convencer al resto de físicos de la eficacia de su acelerador para la investigación nuclear y conseguir fondos para la construcción de más aceleradores. El primer objetivo empezó con mal pie. Deseoso de ofrecer algún resultado experimental tangible con su acelerador, a Lawrence le faltó prudencia a la hora de valorar sus primeras observaciones. Ciertamente, el acelerador parecía funcionar, pero se encontraba todavía en fase experimental. A la vez, una cosa era construir el acelerador y otra cosa diseñar experimentos relevantes con él. Habiendo perdido la carrera por desintegrar núcleos, a Lawrence le quedaba la posibilidad de complementar los experimentos del Cavendish con algún otro resultado significativo, y en 1933 anunció la desintegración del deuterio en el séptimo Congreso Solvay, rodeado de las grandes personalidades científicas del momento. Sin embargo, en los meses posteriores a Solvay, y después de pasar por Cambridge, Lawrence tuvo que admitir que sus experimentos estaban llenos de errores y, lo que parecía ser la desintegración del deuterio, no era más que la detección de impurezas en el montaje experimental. Así, la presentación en sociedad del ciclotrón en Europa quedó empañada por lo que pareció el error de un joven e imprudente científico del Nuevo Mundo.

La otra cuestión a resolver fue la de la financiación. En 1929 Wall Street quebró, sumiendo la economía mundial en una profunda depresión. Las universidades americanas empezaron a notar los efectos de la situación económica en 1932. Los sueldos de los profesores se recortaron, descendió el número de becas de investigación y, con ello, la posibilidad de emprender proyectos de grandes dimensiones. Lawrence necesitaba apoyo económico a gran escala para la construcción de los ciclotrones, dinero que era impensable si tenía que depender de la universidad. La solu-

ción que encontró fue la de acudir a los profesionales, empresarios e investigadores del mundo de la medicina. Lawrence, un excelente orador con gran capacidad de convicción, promocionó el ciclotrón como una fuente de radiación para fabricar radioisótopos de incalculable valor para el tratamiento del cáncer. Invertir en ciclotrones no era sólo invertir en física fundamental, sino, sobre todo, en la investigación para la curación del cáncer. El plan funcionó y Lawrence consiguió transformar el laboratorio de Berkeley en un centro de investigación de primera magnitud.

Su amigo de la infancia, Merle Tuve, también se convirtió en director de un laboratorio físico: el de la institución Carnegie, en Washington. Los intereses de los dos físicos eran parecidos, los dos estaban interesados en el estudio del núcleo y de las propiedades fundamentales de la Materia, pero sus modos de hacer ciencia eran muy distintos. Tuve era paciente, seguro, reflexivo, discreto; le gustaba el trabajo en pequeños equipos donde todo el mundo pudiera participar activamente en las decisiones. Aunque Tuve trabajaba en problemas que estaban en la primera línea de la física más fundamental, su ciencia era a pequeña escala. Por su lado, Lawrence estaba inventando un nuevo modo de hacer ciencia, con grandes equipos de investigadores con una mentalidad que más se asemejaba a la de una fábrica que a la del pequeño laboratorio. Los resultados de Tuve fueron muy relevantes: en 1936, y utilizando un acelerador lineal como el de Cockcroft y Walton, constató que la fuerza de atracción entre protones y neutrones, entre neutrones y neutrones y entre protones y protones era igual; es decir, había independencia de carga en las interacciones nucleares.

Aunque Tuve no compartía el modo de hacer ciencia de Lawrence, Berkeley estaba desarrollando un modo de hacer ciencia que se volvería universal. Es lo que se conoce como *Big Science* o ciencia a gran escala. En la *Big Science* los científicos no trabajan aisladamente, sino que son parte de grandes equipos, en los que la misión de cada uno queda parcialmente diluida. Se manejan cantidades de dinero a gran escala, procedentes del gobierno, de las grandes empresas y del ejército, y las implicaciones tecnológicas y comerciales de la investigación son tanto o más importantes que el mero conocimiento intelectual acerca del mundo. Lawrence demostró no sólo tener grandes ideas para el desarrollo conceptual y tecnológico de la física, sino que demostró ser un gran gestor que supo canalizar el particular carácter emprendedor de los californianos para transformar la ciencia.

El primer ciclotrón experimental que construyó en 1930 tenía un diámetro de 4 pulgadas (unos 10 cm.) y apenas funcionó. En 1931 optó por agrandarlo hasta 11 pulgadas (28 cm.) y con él consiguió energías de un millón de electronvolts. A pesar del fracaso de los primeros experimentos, Lawrence no se amedrentó y siguió impulsando la construcción de ciclotrones cada vez mayores, consciente de que el desarrollo de la investigación nuclear iba a depender cada vez más de la posibilidad de disponer de haces de partículas a altas energías. En la década de los años 1930, Lawrence primó la tecnología de los aceleradores por encima de la producción de resultados científicos relevantes. Mientras que Tuve prefería sacar todo el jugo posible a las energías disponibles con su acelerador lineal, Lawrence invirtió sus esfuerzos en mejorar la técnica constructiva de sus aceleradores. La evolución de los ciclotrones de Lawrence fue la siguiente: en 1934 finalizó la construcción del tercer acelerador, de 27 pulgadas (69.5 cm.), con el que conseguiría energías de hasta 5.5 millones de voltios. El cuarto acelerador, de 37 pulgadas (94 cm.), proporcionaría más de 8 millones de voltios, mientras que a finales de 1939 un ciclotrón de 60 pulgadas (152 cm.) proporcionaría energías de 16 millones de voltios. Para entonces ya se estaba planeando la construcción de uno de 184 pulgadas (467 cm.), pero el estallido de la guerra impidió que se completara el proyecto.

Lawrence contagió la carrera por conseguir mayores aceleradores de partículas a otros centros americanos. En 1940, diez años después del primer ciclotrón, veinte universidades y centros de investigación americanos habían construido sus ciclotrones para el estudio del núcleo atómico y para la fabricación de radioisótopos con fines médicos. La tecnología también se transportaría a Europa y Japón donde, antes del estallido de la guerra, existían diez ciclotrones de medidas entre las 24 y 40 pulgadas. En casi todos los casos la construcción de estos aceleradores venía motivada tanto por el interés por estudiar el interior del núcleo como por la posibilidad de fabricar radioisótopos con aplicaciones biológicas, tanto en medicina como en agricultura. En 1939, a pesar de no haber obtenido ningún resultado significativo en cuanto a física fundamental se refiere, Lawrence recibió el premio Nobel de física. En este caso, el comité Nobel premió el desarrollo de la nueva técnica que servía a intereses físicos, químicos, biológicos y médicos.

La ciencia a gran escala había empezado; pero el golpe de gracia lo recibiría durante el proyecto Manhattan. Como hemos visto en capítulos

anteriores, la física nuclear llegó al resultado más o menos esperado de la fisión del núcleo poco antes de estallar la Segunda Guerra Mundial. Esa fuente inagotable de energía que, como en la novela de H. G. Wells, se había convertido en promesa mesiánica para un mundo libre, parecía estar destinada a ser utilizada, en primer lugar, para el desarrollo de armas con capacidad de destrucción impensable hasta entonces. El pacifista Eisntein, en una famosa carta a Franklin D. Roosevelt, presidente de los Estados Unidos, urgió para que el gobierno americano emprendiera la fabricación de la bomba atómica, por temor a que los alemanes también la estuvieran desarrollando.

El proyecto Manhattan, nombre con el que se conoce el desarrollo de la bomba atómica en Estado Unidos, supuso un esfuerzo ingente de científicos, industriales, gobierno federal e inteligencia militar de dimensiones desconocidas hasta entonces. Se calcula que el coste del proyecto, de tres años de duración, fue de unos dos mil millones de dólares, y que empleó a unas ciento treinta mil personas repartidas en más de veinte instalaciones distintas. En 1942, Erico Fermi, físico italiano refugiado del régimen de Mussolini, consiguió producir la primera reacción nuclear en cadena en las instalaciones deportivas de la universidad de Chicago. Ahí comenzó una carrera contra el reloj por desarrollar la tecnología y producir los materiales radioactivos necesarios para la fabricación de la bomba atómica. En julio de 1945 se lanzaría la primera bomba experimental en Nuevo México y, pocas semanas después, dos bombas sobre Hiroshima y Nagasaki acabarían con la vida de unas doscientas mil personas.

Construir una bomba atómica no es tarea fácil. Uno de los ingredientes fundamentales es disponer de, al menos, diez kilos del isótopo 235 del Uranio. Este elemento es muy raro en la naturaleza el Uranio que se extrae de las minas contiene sólo un 0,7 % del isótopo radioactivo. El resto, aun siendo Uranio, es de una clase no radioactiva (el isótopo 238). En 1941, Lawrence ideó una técnica para separar los dos isótopos del Uranio utilizando uno de los ciclotrones: al ser acelerados, los dos isótopos alcanzan velocidades distintas debido a la diferencia en sus masas, lo cual facilita la separación de los dos Uranios. Así, los aceleradores de partículas de Berkeley empezaron a ser utilizados para aislar el Uranio 235. Además, Lawrence también encontró un método para hacer rentable el Uranio 238: al bombardearlo con neutrones, éste se convierte en Plutonio, el cual es radioactivo y también puede ser utilizado para obtener energía por fi-

sión. Gracias a su pericia tanto científica como tecnológica e industrial, Lawrence consiguió aplicar estos experimentos físicos a la producción a gran escala de Uranio 235 y de Plutonio en dos grandes complejos industriales de los estados de Tennessee y Washington. La bomba de Hiroshima fue de Uranio 235; la de Nagasaki, de Plutonio.

Lawrence se convirtió en uno de los cuatro hombres fuertes del proyecto Manhattan desde el punto de vista científico-técnico. Los otros tres fueron Fermi, Arthur Compton y J. Robert Oppenheimer, quien se convertiría en el máximo responsable del proyecto. Los cuatro constituían la última instancia científica. Por encima de ellos, el General Leslie Groves (1896-1970) y, por supuesto, el presidente de los Estados Unidos. En 1945, cuando la bomba estaba prácticamente terminada, Lawrence propuso que se utilizara sólo como demostración de fuerza; es decir, que no se arrojara sobre núcleos poblados, sino, por ejemplo, frente a la costa de Japón. Dada la incierta eficacia de tal medida, los cuatro científicos estuvieron de acuerdo en aconsejar el lanzamiento de las bombas atómicas sobre ciudades japonesas.

Lawrence vio en la destrucción de Hiroshima y Nagasaki un signo positivo hacia el final de los conflictos armados. Según su postura, la bomba atómica había demostrado su poder de destrucción a una escala tal que invalidaba el mismo concepto de guerra. Con armas como la bomba atómica no tenía sentido comenzar ninguna guerra, pues lo único que conseguiría sería la destrucción total. El poder de la ciencia nuclear iba a ser, a partir de ahora, no sólo un elemento disuasorio para nuevas guerras, sino una fuente de energía poderosa para el progreso y el bienestar social. De ahí que Lawrence no viera obstáculo en el desarrollo de nuevas armas nucleares a la vez que promovía la investigación nuclear para fines pacíficos. Al igual que otros muchos científicos, Lawrence defendía la creación de un organismo internacional para controlar y limitar la proliferación de armas atómicas, y así evitar una carrera de armamentos. El plan no prosperó, y la carrera por conseguir armas cada vez más destructivas marcó la segunda mitad del siglo XX. Dadas las circunstancias, Lawrence defendió la creación de armas más poderosas, incluida la bomba H.

El final de la guerra también trajo consigo otros problemas. El proyecto Manhattan había dado trabajo a miles de científicos traídos de todas las universidades del país, y no se podía dejar sin empleo a esta gente. Ade-

más, toda una generación de jóvenes científicos se había acostumbrado a trabajar en grandes equipos y, sobre todo, sin límite presupuestario. Lawrence, siguiendo en su tónica habitual, aprovechó la inercia del proyecto Manhattan para consolidar su modelo de *Big Science.* Antes de la guerra, Lawrence había utilizado los intereses médicos como fuente de financiación para sus ambiciones científicas. Ahora, tras la guerra, Lawrence vio en los intereses militares una oportunidad para conseguir fondos a gran escala para el desarrollo científico. De ahí que muchos de los proyectos que se llevaron a cabo en Berkeley fueran secretos, al servicio del ejército y de la naciente industria nuclear civil (es decir, para el desarrollo de centrales nucleares).

Lawrence pasó a formar parte de los símbolos nacionales con posterioridad a la guerra. Se le conocía públicamente como un patriota que había desarrollado el arma definitiva para terminar con la Segunda Guerra Mundial. Mientras la fama de Oppenheimer disminuyó por no apoyar el desarrollo de nuevas armas nucleares, hasta el punto de que fue juzgado como sospechoso de espionaje, Lawrence mantuvo hasta su muerte, en 1958, su carácter de héroe nacional que ponía la ciencia física al servicio de los Estados Unidos. Fruto del proyecto Manhattan la física alcanzó las cotas de popularidad más altas de la historia. Frente a otras disciplinas como la química o la biología, la física recibió grandes cantidades de dinero público y privado para la investigación. El número de estudiantes de física en las universidades aumentó, atrayendo a los alumnos más brillantes. La física atómica y de partículas se convirtió en la nueva filosofía natural, dando lugar a las décadas más brillantes de la historia de esta disciplina.

Bibliografía

Baracca, A.: «"Big science" vs. "little science": Laboratories and leading ideas in conflict. Nuclear physics in the thirties and forties», *Physis: Rivista Internazionale di Storia della Scienza,* 30, 1993, 373-390.

Bernstein, Barton J.: «Four physicists and the bomb: The early years, 1945-1950», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences,* 18, 1988, 231-263.

Childs, H.: *An American Genius: The Life of Ernest Lawrence,* New York, 1968.

Heilbron, J. L. and Seidel, R.W.: *Lawrence and his laboratory. A history of the Lawrence Berkeley Laboratory,* University of California Press, Los Ángeles, 1989.

Herken, G.: *Brotherhood of the Bomb: The Tangled Lives and Loyalties of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller,* Henry Holt and Co., New York, 2002.

Kevles, D. J.: *The Physicists. The history of a Scientific Community in Modern America,* Harvard University Press, Cambridge, 1971.

Seidel, R.: «The origins of the Lawrence Berkeley Laboratory», en Galison, P. y Hevly, B.: *Big Science: The growth of large-scale research,* Stanford University Press, Stanford, 1992, 21-45.



RICHARD FEYNMAN
LA MODA DE LA FÍSICA

LAS BOMBAS SOBRE Hiroshima y Nagasaki pusieron el punto y seguido a los largos años de la Segunda Guerra Mundial. Japón, al igual que los países centroeuropeos, quedó a merced del dominio americano. Pero la guerra no había terminado definitivamente. En el horizonte, un nuevo conflicto se cernía entre las dos grandes potencias, la Unión Soviética y los Estados Unidos. De ahí que el juicio moral acerca del Proyecto Manhattan quedara viciado por las circunstancias de la postguerra. La bomba atómica había sido el arma definitiva para la victoria final y los artífices de tal epopeya habían sido los físicos, con lo que éstos pasaron a ser héroes nacionales. Si la física había podido poner fin a tanta crueldad en tiempo de guerra, también podía hacer lo mismo en tiempo de paz. Además, la paz alcanzada en 1945 fue sólo relativa. La guerra fría fue eso: una guerra. Y estaba en manos de los físicos ganar esa nueva guerra, con el desarrollo de armas nucleares cada vez más sofisticadas. La carrera de armamentos no había hecho más que empezar.

La física se convirtió en el centro de las políticas científicas en los Estados Unidos, en la Unión Soviética y en los dos bloques en los que quedó dividida Europa. El proyecto Manhattan había marcado para siempre el modo de hacer ciencia y la importancia de la física como la reina de las ciencias. El interés público por la física, en especial por la física atómica y nuclear, experimentó un impulso sin precedentes. Periódicos, revistas y emisoras de radio dedicaban sus espacios a explicar los misterios de la materia, la composición del átomo y los entresijos del núcleo atómico. Adolescentes en busca de una carrera universitaria con prestigio se matricula-

ban en facultades de física, las cuales se multiplicaron. Los miles de científicos involucrados en el proyecto Manhattan pasaron a ser profesores y directores en las facultades de física de las universidades, donde siguieron desarrollando investigación acerca del átomo, del núcleo y de sus posibilidades. Dinero para la investigación no faltaba, pues la sociedad parecía estar interesada en el tema. Por poner un ejemplo, la inversión en física en 1953 era 25 veces mayor que en 1938. Ser físico estaba de moda.

Los personajes de los capítulos anteriores vivieron los *felices años 30,* una época en la que los físicos eran conscientes de estar desarrollando nuevos horizontes de la ciencia. La guerra cambió sus vidas y su modo de hacer ciencia, pero nunca perdieron la seriedad y el respeto que la actividad científica les merecía. El personaje de este capítulo se formó en Los Álamos, dentro del proyecto Manhattan. Para él, la única razón por la que hacer física es la diversión, pasar un buen rato. Su nombre, Richard Feynman.

Feynman nació en 1918, en un pequeño pueblo a las afueras de Nueva York. Aunque de origen judío, sus padres apenas frecuentaban la sinagoga local, y Richard creció en un ambiente donde los misterios de la religión no existían. Los únicos misterios que interesaban a Feynman estaban escondidos en aparatos eléctricos, radios y máquinas de todo tipo. Con un interés práctico por el funcionamiento de las cosas, pronto empezó a instalar lo que, con la imaginación de la infancia, llamaría un laboratorio. Su habitación empezó a llenarse de válvulas y cables con los que construyó su primera radio. Con el tiempo, su afición por la radio se convirtió en su primera fuente de ingresos: vecinos y conocidos acudían a él para arreglar las radios domésticas durante los años de la Depresión.

Apasionado por los retos y dotado de una gran imaginación espacial, pronto desarrolló una gran capacidad para resolver puzzles y rompecabezas. Las más elementales operaciones algebraicas no eran un simple ejercicio mental. Feynman quería ver el resultado más que calcularlo, con lo que se le empezó a conocer, ya en sus años de escuela, por la manera poco ortodoxa, pero rápida y eficaz, de resolver problemas. Además, se dedicaba, por puro placer, a desarrollar teoremas matemáticos, hasta el punto de que *descubrió* las fórmulas elementales de la trigonometría antes de recibir lecciones sobre el tema. Lo único que variaba era la manera de escribir los senos y los cosenos, pues Feynman consideraba poco natural la notación es-

tándar. Hasta el trabajo más elemental era ocasión para el desarrollo de alguna teoría. Un verano, trabajando como mozo en un hotel, propuso todo un nuevo modo de organizar la recogida de los comedores y el transporte de utensilios. Cabe decir que, viniendo de un jovenzuelo, sus teorías no eran siempre bien recibidas.

Al terminar su educación secundaria no había ninguna duda de que el camino de Feynman se dirigía hacia las ciencias. Sus notas en física y matemáticas eran impecables, pero el resto de asignaturas se convirtieron en una losa en sus años de bachillerato. Fue admitido en el MIT, donde empezó a estudiar física. Como sucedería en todas partes, Feynman no era persona que pasara fácilmente desapercibida. Su energía arrolladora, su sentido del humor y del riesgo, y su pasión por hacer las cosas a su manera pronto le valieron buena fama entre los estudiantes, incluidos los de cursos superiores. Autodidacta por naturaleza, era habitual encontrarlo con estudiantes mayores, intentando ayudarles a resolver problemas de física.

Feynman empezó a estudiar física en 1935, cuando ser físico todavía no estaba de moda. Para él, hacer física no era una cuestión de prestigio o de interés económico. Antes de 1939 ninguno de los dos estaba garantizado a través de la física. Para él, la física era un juego con el que se lo pasaba bien. No había consideraciones filosóficas, ni metafísicas, ni religiosas, sólo el prurito por pasar un buen rato haciendo lo que más le divertía. Del MIT se fue a Princeton en 1939 para hacer el doctorado. Nada más llegar, su prioridad fue conocer el acelerador de partículas de la universidad. Para su sorpresa, el ciclotrón en sí mismo era pequeño, más pequeño que el del MIT, pero conseguía llenar la habitación de cables, lo cual le recordó al pequeño laboratorio doméstico de su infancia. En el MIT el ciclotrón lo habían construido ingenieros y lo utilizaban físicos, con lo que no había manera de intuir lo que estaba sucediendo detrás de los botones. En Princeton, los físicos construían y manejaban el ciclotrón, con lo que era fácil ver la física en todos sus aspectos.

Ser estudiante en Princeton tenía una ventaja: esta universidad era un destino para físicos de todo el mundo, atraídos por la presencia en esa universidad de Albert Einstein. Así es que Feynman dio su primer seminario en Princeton, como estudiante de doctorado, ante gente como Wigner (1902-1995), Russell, von Neumann (1903-1957), Pauli, y el propio Einstein. El problema que Feynman estaba intentando resolver en su doc-

torado era de gran importancia para la física de partículas. La mecánica cuántica que se desarrolló en la década de 1920 había conseguido dar un paso fundamental hacia el interior del núcleo. Pero la electrodinámica cuántica seguía siendo un problema. La naturaleza y el comportamiento de los electrones eran un enigma de primera magnitud: las ecuaciones que los describían estaban llenas de términos divergentes, es decir, términos que tendían al infinito en la proximidad de la partícula, lo cual no era consistente. La solución que Feynman presentaba a estas alturas de su carrera tampoco era consistente, sobre todo a los ojos de su auditorio de premios Nobel. Lo que sí ponía de manifiesto es que Feynman no se conformaba con un problema lateral, sino que quería enfrentarse con uno de los temas fundamentales de la física del momento.

Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, pero, sobre todo, con la puesta en marcha del proyecto Manhattan, la demanda de físicos superó la oferta del momento. La gran movilización para fabricar la bomba atómica supuso el reclutamiento de todos los físicos disponibles en el momento, incluidos los estudiantes de doctorado y de últimos cursos de carrera. Toda una generación de físicos en Estados Unidos se formó con la bomba y, por lo tanto, se acostumbró a trabajar en unas condiciones de *Big Science* desconocidas hasta entonces.

La organización del proyecto Manhattan corrió a cargo de los militares, y un aspecto vital fue el de mantener el secreto. Mucha gente que participó en el proyecto jamás supo en qué estaban trabajando. Los científicos lo sabían, pero el trabajo de cada uno de ellos se centraba sólo en un aspecto de la bomba, con lo que sólo unos pocos conocían el mecanismo global de funcionamiento y la relación que los distintos proyectos individuales tenían entre sí. El secreto también implicaba que todos los que trabajaban el Los Álamos, el centro neurálgico del proyecto, tenían todas sus comunicaciones controladas, incluido el correo postal. Los hábitos de Feynman supusieron un problema para los censores. Apasionado por los jeroglíficos y rompecabezas, había pedido tanto a sus padres como a su esposa que le escribieran sus cartas en un código desconocido, así podía entretenerse descifrando la carta. Cada carta era un juego para Feynman y un problema para los responsables de seguridad de Los Álamos. Ambas partes tuvieron que llegar a un acuerdo, consistente en que los remitentes enviaban con la carta el código para los censores. Así, éstos podían leer las cartas y Feynman seguir con su juego.

Y, de algún modo, fabricar la bomba atómica también era un cierto juego a contrarreloj. Las contribuciones de Feynman al proyecto se centraron en el cálculo de la masa crítica de material radioactivo necesario para que la bomba detonara. Gracias a su familiarización con ese aspecto del funcionamiento de la bomba, Feynman evitó un accidente de grandes proporciones. En Oak Ridge, Tennessee, se producía el Uranio radioactivo en un gran complejo industrial. Nadie de los que trabajaba ahí sabía qué estaba haciendo ni para qué. Sólo se les había dado una tecnología que poner en práctica. En una de sus visitas, Feynman intuyó el problema que suponía el almacenamiento del Uranio en Oak Ridge. Éste era guardado y acumulado, como cualquier otro producto industrial, a medida que se producía. Como nadie en Oak Ridge conocía las propiedades de la bomba, nadie reparó en el peligro que suponía acumular grandes cantidades de Uranio. El peligro que Feynman evitó fue el de una detonación espontánea.

En Los Álamos, Feynman tampoco pasó desapercibido. Pronto se le conoció como el más brillante, con diferencia, de todos los jóvenes presentes. Y no sólo brillante, sino también desinhibido. Una anécdota refleja un rasgo de su carácter. En una de sus primeras visitas a Los Álamos, Niels Bohr se dio cuenta de que Feynman era el único de los jóvenes presentes que no asentía a todo lo que Bohr decía. El joven parecía ser el único en atender a las ideas de Bohr, y no a la fama del personaje. Por eso Bohr quiso discutir con él a solas determinados aspectos del funcionamiento de la bomba, pues confiaba en su capacidad crítica.

La primera bomba experimental se programó para el 16 de julio de 1945 en el desierto de Nuevo México. El público, una miríada de científicos y personal militar estaba expectante. Como medida de protección todos llevan gafas oscuras: la incertidumbre sobre la intensidad de la luz lo hacía recomendable. Pero Feynman, con su habitual independencia, había calculado la intensidad de luz y había decidido que no sería dañino, con lo que se quitó las gafas. Años más tarde se enorgullecería de haber sido probablemente el único ser humano en haber visto la primera detonación nuclear a color, con lo que también se apercibió de la formación de nubes cerca del lugar de la explosión. Para Feynman, la bomba atómica era otro juego científico. Pronto se acomodó a la situación de la guerra fría en que la amenaza mutua parecía ser el motor de la paz, lo cual le evitó hacer un juicio moral crítico sobre su contribución al proyecto Manhattan.

En Los Álamos pasó los años emocionalmente más intensos de su vida. El trabajo era absorbente, pero su vida quedó marcada por otro acontecimiento. Justo antes de abandonar Princeton, en 1941, Richard Feynman se casó con Arlene, a la cual había conocido en su infancia. Arlene estaba enferma de tuberculosis y le quedaban pocos meses de vida, con lo que decidieron casarse a pesar de la oposición de sus familias. Su viaje de novios fue el recorrido desde el juzgado de paz hasta el hospital. Feynman no se trasladó a Los Álamos hasta haber garantizado un buen hospital para Arlene en Albuquerque, en las cercanías de Los Álamos. El tiempo libre del que disponía lo pasaba viajando al hospital en un coche prestado para estar con su esposa y, de noche, volver a Los Álamos. Arlene murió en aquel hospital y parece que Feynman nunca se recuperó de aquella pérdida. Volcó su rabia convirtiéndose en un mujeriego sin límites. A pesar de ello se volvió a casar dos veces. El matrimonio con Mary Lou duró poco más de un año. Más tarde se casó con Gweneth, con quien tuvo dos hijos, Carl y Michelle.

Feynman fue de los primeros en abandonar Los Álamos una vez terminado el proyecto. Consiguió una plaza de profesor asociado en Cornell, donde empezó a enseñar física y a hacer su propia investigación independiente. Allí decidió llevar a la práctica su sueño de hacer física por el puro placer de pasarlo bien haciendo física. Sólo así conseguiría dar lo mejor de sí para el desarrollo de la ciencia. Y para ello, decidió volver al problema de la electrodinámica cuántica que había iniciado en Princeton.

Tras la guerra, la investigación en partículas elementales experimentó una gran explosión. Ser físico estaba de moda, pero entre todas sus ramas, la física nuclear y de altas energías se convirtió en la estrella. La investigación en rayos cósmicos fue una fuente inagotable de sorpresas. En 1932 Anderson se había topado con el electrón positivo y, desde entonces, los rayos cósmicos proporcionaron conocimiento sobre nuevas partículas. En 1937, los *mesotrones* hicieron su aparición. Estas partículas, a las que pronto se llamaría mesones, tienen una masa intermedia entre la de los protones y los electrones. Diez años más tarde se observaron nuevos tipos de mesones y, desde entonces, el mundo se pobló de una variada fauna y flora de nuevas partículas. Más tarde, a mitad de los años 50, los aceleradores de partículas tomaron el relevo a los rayos cósmicos en proveer a la física con nuevas partículas.

Se hacía urgente poder entender el comportamiento de las partículas más elementales y sus interacciones, aspecto al que Feynman contribuyó

de un modo determinante. Para ello reformuló totalmente la manera de ver las partículas. De Broglie y Schrödinger habían introducido una dualidad en el modo de entender las partículas con la que Feynman no estaba del todo cómodo, pues mantenían dos conceptos clásicos de onda y corpúsculo. Siguiendo los pasos de Bohr en su tiempo, Feynman optó por abandonar el *sentido común* a la hora de tratar con fenómenos nucleares. Había que dejar de pensar las partículas como bolas de billar. Todo lo que las ecuaciones nos daban era una serie de propiedades sin ningún correlato evidente. La primera de tales propiedades, el espín, había sido clave en los inicios de la mecánica cuántica. Poco a poco, las matemáticas y el sentido común se habían ido distanciando y había que optar por las primeras en detrimento del segundo. De todos modos, Feynman consiguió *representar* de un modo nuevo los procesos de la nueva física en lo que, desde entonces, se conoce como los diagramas de Feynman.

Un diagrama de Feynman es una manera gráfica de representar las interacciones entre partículas elementales. Ahí aparecen no sólo las partículas que interaccionan, sino también las partículas portadoras de la interacción, como son los fotones. Pero como las ondas son, a la vez, partículas, las trayectorias de los diagramas de Feynman quieren representar todas las posibles trayectorias en el mundo real. De ahí que, si bien los diagramas son una manera de visualizar los procesos de altas energías, cualquier intento de asimilarlos a representaciones *normales,* es decir, a representaciones en nuestras coordenadas espaciales, está abocado al fracaso. De algún modo podemos decir que los diagramas de Feynman son un modo gráfico de representar probabilidades, no de representar directamente la realidad tal como la entendemos habitualmente. Nuestros dibujos son espaciales, se centran en las tres coordenadas del espacio; los de Feynman incluyen la coordenada tiempo, y, con ello, pierden realismo.

Los diagramas de Feynman pusieron en evidencia dos de sus cualidades más significativas: su capacidad de reformular e inventar maneras de representar problemas físicos y su pasión por enseñar. Esta segunda habilidad fue, quizás, la que más le lanzó a la fama, dentro y fuera de la física especializada. Tras unos años constatando las dificultades que los alumnos de cursos superiores tenían debido a una ineficaz formación inicial, Feynman decidió encargarse de enseñar a los alumnos de primer curso de física en Caltech. Sus clases eran magistrales y sencillas a la vez, claras y profundas, fruto de su apasionamiento por los problemas reales de la físi-

ca. Tras años disfrutando con el juego de la física, Feynman fue capaz de transmitir la pasión por ese juego a muchas promociones de físicos en el Caltech. La calidad de sus clases puede todavía hoy ser apreciada, pues éstas fueron grabadas y están al alcance de todos en Internet. También sus innumerables libros de divulgación ponen de manifiesto su pasión y habilidad por transmitir los contenidos de la física al gran público.

En 1978 le diagnosticaron un cáncer de estómago. El tumor era de grandes proporciones y todo apuntaba a un rápido desenlace. Pero tras una difícil operación, la enfermedad pareció superada. Diez años más tarde, Feynman moriría tras la aparición de nuevos tumores en distintas partes del cuerpo. Su última gran aparición en público fue durante la comisión para investigar las causas de la catástrofe del Challenger, en enero de 1987. Aquel día el trasbordador espacial explotó tras un minuto de vuelo, llevándose tras de sí no sólo las vidas de los siete astronautas, sino el sueño de una exploración sin límites del espacio. La noche antes del lanzamiento las temperaturas en Florida habían sido inusualmente bajas. El frío disminuyó la capacidad de las gomas de plástico para sellar las junturas de los cohetes propulsores, dejando entrar aire en el depósito de combustible. El desenlace fue fatal. Feynman fue nombrado miembro de la comisión que el presidente Reagan constituyó para investigar los hechos. En una de sus intervenciones, siguiendo con su tónica de no pasar desapercibido, Feynman captó la atención de las cámaras al mostrar, en un vaso de agua helada, cómo la goma perdía resistencia y se rompía fácilmente. De este modo, el público entendió las causas físicas de la explosión de un modo muy gráfico.

La explosión del Challenger marcó el final de la época dorada de la física. Si el proyecto Manhattan había puesto a los físicos de moda, el Challenger puso en evidencia los límites de una física todopoderosa. Dos años después, la caída del muro de Berlín y el colapso de la Unión Soviética pusieron fin a la guerra fría y, como consecuencia, a la necesidad de invertir en física. Una nueva ciencia, la genética, empezaba a ocupar los titulares. Conocer los secretos de la Materia ya no era tan urgente como conocer los secretos de la vida. Feynman tuvo la suerte de poder jugar a ser físico en el momento de mayor inversión y de mayor fama en la historia de esta disciplina científica.

BIBLIOGRAFÍA

BROWN, L. M. and RIGDEN, J. S.: *Most of the Good Stuff: Memories of Richard Feynman,* American Institute of Physics, New York, 1993.

FEYNMAN, R. P.: *The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen Scientist,* Perseus Publishing, 1999.

FEYNMAN, R. P.: *Surely You're Joking, Mr. Feynman,* Norton & Company, New York, 1985.

FEYNMAN, R. P.: *What do You Care Other People Think?,* Norton & Company, New York, 1988.

GLEICK, J.: *Genius: The Life and Science of Richard Feynman,* Abacus, London, 1992.

GRIBBIN, J. and GRIBBIN, M.: *Richard Feynman: A Life in Science,* Viking, London, 1997.

MEHRA, J.: *The Beat of a Different Drum: The Life and Science of Richard Feynman,* Clarendon Press, Oxford, 1994.

EPÍLOGO

EL FINAL DE UNA *BIOGRAFÍA*

ESCRIBIR UNA BIOGRAFÍA de alguien vivo no es tarea fácil. Falta un elemento esencial: su muerte. Es el caso de la *biografía de la materia.* Lógicamente ésta no muere. Puede ser que hayamos llegado al límite de nuestro conocimiento acerca de ella, aunque me inclino a pensar que algún día, quizás no lejano, una nueva teoría desplazará las existentes en la actualidad. No es fácil saber qué pasará con la vida de la materia, igual que no es fácil saber qué sucederá en la vida de una persona. Sin embargo, es inevitable que los *arquitectos* que propongan nuevas teorías deberán tener en cuenta las construcciones de sus predecesores. El atomismo seguirá siendo un elemento a tener en cuenta.

En una de las famosas clases de Feynman se oye lo siguiente:

> Si, por algún cataclismo, se destruyera todo nuestro conocimiento científico, y sólo una frase pasara a la siguiente generación de criaturas, ¿qué frase contendría la mayor información en el menor número de palabras? Creo que es la hipótesis atómica (o el hecho atómico, o como queráis llamarlo) de que *todas las cosas están hechas de átomos —pequeñas partículas que se mueven en movimiento perpetuo, atrayéndose unas a otras cuando se encentran a cierta distancia, pero repeliéndose cuando se las intenta acercar demasiado.* En esa frase hay una cantidad *enorme* de información acerca del mundo; sólo hace falta aplicar un poco de imaginación e inteligencia.

En este libro hemos visto cómo la *hipótesis atómica,* tal como la llama Feynman, se fue imponiendo a lo largo de los siglos, a pesar de los problemas filosóficos que implica la pregunta «¿qué hay entre los átomos?».

También hemos asistido a una *biografía de la materia* llena de sorpresas. Las *construcciones* que se diseñaban (las teorías) tenían una validez limitada. Con demasiada frecuencia hacía falta repensar esos edificios, rediseñarlos o, incluso, demolerlos. Era como si la materia, en su *biografía,* no acabase de encontrar su identidad propia. Dejo para el lector la tarea de decidir si la culpa es de la materia o de sus arquitectos.

Tras la Segunda Guerra Mundial, la cantidad y variedad de partículas elementales aumentó vertiginosamente. Si en 1930 bastaba con tres partículas (protón, electrón y fotón) para explicar la composición de la materia, en 1960 el número de partículas halladas en rayos cósmicos y manufacturadas en aceleradores de partículas pasaba del centenar. Además, la mayoría de las partículas tenían una vida muy corta: había una transformación constante de unas en otras, lo cual hacía dudar de la validez del concepto de partícula elemental. El mundo se mostraba más dinámico y fluido de lo que el mecanicismo de Newton nos había inducido a pensar.

Entender qué era una partícula elemental se antojaba cada vez más y más difícil y no valía la idea de ladrillos del mundo en miniatura. Sus propiedades eran inimaginables y sólo tenían sentido matemático. Se habla de color y sabor de las partículas, pero estos nombres sólo reflejan, con un cierto sentido del humor, la imposibilidad de imaginarnos las partículas y sus propiedades. De todos modos, y en beneficio de la simplicidad, se ha conseguido llegar a un esquema sintético con sólo doce partículas y sus correspondientes anti-partículas: seis quarks y seis leptones. Además, las distintas fuerzas entre éstas también son transmitidas por otras partículas. El cuadro siguiente ordena las partículas conocidas en lo que ha pasado a conocerse como el Modelo Estándar:

QUARKS	LEPTONES
U	Electrón
D	Neutrino electrónico
S	Muón
C	Neutrino muónico
B	Tau
T	Neutrino tauónico

FUERZA	PARTÍCULA INTERMEDIA
Electromagnética	Fotón
Nuclear Fuerte	Gluón
Nuclear Débil	W, Z
Gravedad	(¿gravitón?)

A modo de ejemplo: un protón está constituido por dos quarks U y uno D, mientras que un mesón está compuesto de un anti-quark U y un quark D. Con este esquema se consiguió poner orden a la materia, igual que la tabla de Mendeleiev consiguió poner orden a los átomos.

Esta tabla es la última fotografía de nuestro *personaje* central, la materia. Sus *arquitectos* se sienten orgullosos de ella y la veneran con la misma devoción que Bruno trataba los escritos de Hermes Trimegisto, Newton la Biblia y Mendeleiev su tabla. Filósofos, químicos, físicos y alquimistas han contribuido a su evolución. Seguramente no será la última fotografía. Otros *arquitectos,* participando en otras culturas, *diseñarán* teorías ahora impensables. La materia seguirá creciendo, evolucionando y cambiando de identidad al paso de *gigantes* como los conocidos en este libro.

Cronología general

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. XIX a.C.		Según la Biblia, los hebreos llegan a Egipto.		
S. XVII a.C.	Se inicia la composición de los libros de los Vedas.			
S. XVI a.C.		Se inicia en China la Dinastía Shang.		
S. XIV a.C.				Se construye la Puerta de los Leones en Micenas.
S. XIII a.C.		Guerra de Troya.		
S. VIII a.C.	Homero escribe la *Odisea* y la *Ilíada*. Hesíodo escribe *Los trabajos y los días* y *Teogonía*.	**776 a.C.** Se celebran, en la ciudad griega de Olimpia, los primeros juegos en honor al dios Zeus, que tendrían lugar cada cuatro años. **753 a.C.** Según la tradición, Rómulo funda la ciudad de Roma.		
S. VII a.C.	**664 a.C.** Muere el poeta lírico Arquíloco de Paros, inventor del yambo.		**625 a.C.** Nace el matemático Tales de Mileto, padre de las ciencias físicas.	

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. VI a.C.	**523 a.C.** El poeta griego Anacreonte de Teos compone poemas dedicados al amor.	**594 a.C.** Solón inicia una serie de reformas en Atenas para lograr un mayor equilibrio social y económico. **509 a.C.** Roma se convierte en una república.	**570 a.C.** Nace el filósofo y matemático Pitágoras. **551 a.C.** Nace el filósofo chino Confucio. **528 a.C.** Buda es «iluminado» e inicia un peregrinaje de cuarenta años para difundir sus doctrinas.	
S. V a.C.	**494 a.C.** El poeta Píndaro escribe sus primeras odas. **472 a.C.** Esquilo publica *Los persas*. **458 a.C.** Esquilo escribe la tragedia *Orestíada.* **441 a.C.** Sófocles escribe la tragedia *Antígona.* **431 a.C.** Eurípides escribe la tragedia *Medea.* **430 a.C.** El historiador griego Herodoto escribe la *Historia;* en ella narra la guerra entre griegos y persas. Sófocles finaliza la tragedia *Edipo Rey* **425 a.C.** En torno a esta fecha, el historiador griego Tucídides escribe *Historia de la guerra del Peloponeso.*	**490 a.C.** Primera Guerra Médica entre atenienses y persas. Batalla de Maratón. **458-429 a.C.** Gobierno de Pericles. **451 a.C.** Tregua de cinco años entre Atenas y Esparta. **443 a.C.** Pericles es elegido estratega de Atenas. **431 a.C.** Se inicia la guerra del Peloponeso entre Atenas y Esparta.	**470 a.C.** Nace en Atenas el filósofo Sócrates.	**490 a.C.** Se construye el santuario ateniense de Delfos. **475 a.C.** Se empieza a esculpir el *Auriga* de Delfos en bronce con cuatro caballos, hoy desaparecidos. **470 a.C.** Se inicia en Olimpia la construcción del templo dedicado al dios supremo Zeus. **450 a.C.** El escultor griego Mirón de Eleuteras termina el *Discóbolo.* **447 a.C.** Se inicia la construcción del Partenón de Atenas por orden de Pericles. **438 a.C.** Se instala en el Partenón la colosal estatua de la diosa Palas Atenea, realizada en oro y marfil por el escultor griego Fidias.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. V a.C.	**423 a.C.** Aristófanes termina la comedia *Las nubes.* **417 a.C.** Eurípides escribe *Electra.*	**404 a.C.** Concluye la guerra del Peloponeso con la rendición de Atenas ante Esparta. En Atenas se instaura la oligarquía.	**405 a.C.** Hipócrates elabora su teoría de los cuatro humores y separa la medicina de la religión.	**420 a.C.** Se construye en la Acrópolis de Atenas el templo dedicado a la diosa Atenea Niké.
S. IV a.C.	**399-347 a.C.** Platón escribe sus *Diálogos*.	**381 a.C.** Roma es saqueada por los galos. **361 a.C.** Se instituyen en Roma los Juegos escénicos para intentar apaciguar la cólera de los dioses. **336 a.C.** Alejandro Magno hereda el poder de su padre Filipo de Macedonia. **332 a.C.** Alejandro Magno conquista Egipto y funda la ciudad de Alejandría. **327 a.C.** Alejandro Magno invade la India. **323 a.C.** Muere Alejandro Magno y sus posesiones son repartidas entre sus generales.	**399 a.C.** Sócrates es condenado a muerte por «corromper a la juventud de Atenas» y es obligado a ingerir cicuta. **387 a.C.** Platón (427-347 a.C.) funda la Academia. En esta época escribe *Fedón, El banquete, Fedro* y *La república.* **367 a.C.** Aristóteles ingresa en la Academia y se convierte en discípulo de Platón. **343 a.C.** Aristóteles se encarga de la educación del joven Alejandro Magno. **335 a.C.** Aristóteles funda el Liceo. **331 a.C.** Se funda Alejandría en Egipto. **322 a.C.** Muere Aristóteles dejando escritos sobre historia natural, física, metafísica, retórica, poética, política y lógica. **320 a.C.** Piero funda el escepticismo.	**380 a.C.** El escultor Praxíteles de Atenas realiza sus primeras obras, marcadas por la flexibilidad de líneas y actitudes. **340 a.C.** Se edifica el teatro de Atenas sobre las rocas de una colina junto a la Acrópolis.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. IV a.C.	**317 a.C.** El dramaturgo griego Menandro escribe la comedia *El misógino.*		**307 a.C.** El filósofo griego Epicuro de Samos funda la Escuela del Jardín en Atenas. **300 a.C.** Zenón de Citio funda su escuela y da inicio al estoicismo.	**300 a.C.** Se construye un teatro para 15.000 espectadores en la ciudad griega de Epidauro.
S. III a.C.	**207 a.C.** En esta época, Livio Andrónico da a conocer a los romanos la literatura griega con diversas traducciones.	**264 a.C.** Se inicia la Primera Guerra Púnica, que enfrenta a Roma con Cartago. **241 a.C.** Roma derrota a Cartago y finaliza la Primera Guerra Púnica. **218 a.C.** Se inicia la Segunda Guerra Púnica. El caudillo cartaginés Aníbal es derrotado a las puertas de Roma. **213 a.C.** En China se queman todos los libros, excepto los científicos, anteriores a la dinastía Qin, recién llegada al poder. **202 a.C.** Finaliza la Segunda Guerra Púnica con una nueva victoria de Roma sobre Cartago.	**295 a.C.** Euclides publica *Elementos.* **270 a.C.** Aristarco propone la teoría heliocéntrica.	**280 a.C.** Se construye el *Coloso de Rodas,* estatua de 33 metros de altura en bronce que representa al dios Helios. **244 a.C.** Se inicia la construcción de uno de los tramos de la Gran Muralla china. **224 a.C.** Un violento seísmo destruye el *Coloso de Rodas.* **210 a.C.** El emperador chino es sepultado en el complejo funerario de Monte Li.
S. II a.C.	**196 a.C.** En Egipto se labra la llamada «piedra Rosetta» con inscripciones en escritura jeroglífica, demótica y griega. **184 a.C.** Muere el comediógrafo Plauto. **166 a.C.** Se representa la primera comedia de Terencio.			**190 a.C.** Realización de la estatua de la Victoria alada de Samotracia. **185 a.C.** Se construye el altar de Pérgamo, máximo exponente del arte helenístico.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. II a.C.	**149 a.C.** Se publica la primera historia de Roma, *Orígenes,* de Catón, poco antes de su muerte.	**149 a.C.** Empieza la Tercera Guerra Púnica con la destrucción de Cartago por parte de los romanos.	**150 a.C.** Se inventa en Pérgamo el pergamino, elaborado con piel de oveja, como alternativa al papiro.	
S. I a.C.	**86 a.C.** Cicerón escribe *De inventione*. **60 a.C.** Alrededor de esta fecha se inicia la etapa más brillante de la poesía romana con Lucrecio y Catulo. **44 a.C.** El orador, filósofo y político Cicerón escribe el tratado *Sobre la naturaleza de los dioses*. **43 a.C.** Muere Cicerón asesinado por orden de Marco Antonio. **26 a.C.** El historiador romano Tito Livio escribe el primer volumen de su historia de Roma. **23 a.C.** Se publican los tres primeros libros de las *Odas* de Horacio. **19 a.C.** Muere Virgilio dejando casi finalizada la *Eneida,* gran poema épico de los romanos.	**86 a.C.** Roma toma Atenas. **73 a.C.** El esclavo Espartaco encabeza una sublevación de esclavos contra Roma. **63 a.C.** Julio César reforma el calendario. **60 a.C.** Se forma el primer triunvirato romano, con Julio César, Pompeyo y Craso. **44 a.C.** Julio César se convierte en dictador vitalicio, pero es asesinado durante los «idus de marzo». **43 a.C.** Se forma el segundo triunvirato romano, con Octavio, Marco Antonio y Lépido. **29 a.C.** Octavio es nombrado emperador de Roma tras derrotar a Marco Antonio. **13 a.C.** Se calcula que Roma cuenta con cerca de 800.000 habitantes.		**85 a.C.** Se construye en Pompeya el primer anfiteatro de la historia destinado a acoger luchas de gladiadores. **27 a.C.** Se construye el Panteón de Roma por orden del general romano Agripa.
S. I	**Entre 2 y 4** Nace en Córdoba el escritor y filósofo Séneca. **17** Muere Ovidio, autor de las *Metamorfosis*.	**14** Muere el emperador romano Octavio Augusto. **29-30** Muerte de Jesús.	**12** Se realiza en Roma una carta geográfica del Imperio.	

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. I	**40** Nace el poeta latino Marcial. **50-60** Cartas de Pablo. **55** Nace el historiador Tácito. **65** El apóstol Pedro muere martirizado. **70-80** Los evangelios de Mateo y Lucas. **95** Quintiliano publica *Institutio Oratoria*.	**37** Calígula accede al trono de Roma. **41** Calígula es asesinado y Claudio le sustituye. **64** Primera persecución de los cristianos en Roma. **70** Los romanos (Tito Flavio) consquistan Jerusalén.	**90** Nace el astrólogo, matemático y geógrafo griego Ptolomeo.	**79** Inauguración del Coliseo romano.
S. II	**139** Muere el poeta satírico Juvenal, autor de las *Sátiras*.	**180** Finaliza la guerra de Roma contra los germanos. **187** Una peste provoca 2.000 muertos diarios en Roma.	**140** Ptolomeo publica el *Almagesto*. **170** Trabajos de Galeno. **180** Clemente asume la dirección de la Escuela Cristiana de Alejandría.	**105** Se construye el acueducto de Segovia, con 128 arcos de gran altura. **113** Se consagra, en Roma, la columna del emperador Trajano, conmemorativa de la campaña en Dacia.
S. III	**200** En torno a esta fecha concluye en la India la redacción definitva del *Ramayana*.	**235-285** Invasiones bárbaras en el Imperio Romano. **238** Roma tiene seis emperadores en un solo año. **253** Los germanos entran en la parte occidental del Imperio Romano.	**201** Muere el médico griego Galeno, famoso por sus estudios sobre anatomía.	**210** Primeras muestras de arte cristiano en las pinturas de las catacumbas de Roma.
S. IV		**312** Constantino se convierte al Cristianismo. **325** Concilio de Nicea.	**324** El cristianismo se convierte en religión de estado en el Imperio Romano.	**316** Se erige en Roma el Arco de Constantino. **327** Se construye la iglesia de San Pedro del Vaticano sobre la tumba del apóstol Pedro.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. IV	**382** San Jerónimo traduce la Biblia al latín.	**330** Constantino traslada la capital del imperio a Constantinopla. **355** Los germanos invaden las Galias. **395** El Imperio Romano queda definitivamente dividido en Oriente y Occidente.		
S. V	**400** San Agustín (354-430) publica *Confesiones*. **413-426** San Agustín escribe *Ciudad de Dios*.	**410** El rey visigodo Alarico I saquea e incendia Roma. **439** Los vándalos conquistan Cartago. **476** El Imperio Romano del oeste desaparece. **493** El Rey ostrogodo Teodorico I domina toda la península italiana.	**480** Nace en Roma el filósofo Boecio.-524.	**492** Se construye en Ravenna la iglesia de Sant-Apollinare Nuovo.
S. VI		**586** El rey visigodo Leovigildo establece la unidad territorial de la península Ibérica.	**523** Boecio escribe en la cárcel la *Consolación de la filosofía*. **570** Nace Mahoma, fundador del Islam. -632.	**500** Se construye una gigantesca estatua de Buda en el monasterio de Bamiyan (Afganistán). **537** Finalizan las obras de construcción de la basílica de Santa Sofía de Constantinopla.
S. VII			**622** Mahoma huye de La Meca. Comienzo del Islam.	**691** Se construye la Mezquita de la Roca en Jerusalén.
S. VIII	**739** Se traduce al árabe el *Panchatantra* indio, bajo el nombre de *Calila y Dimna*. **770** Muere el poeta chino Tu Fu.		**711** Los árabes entran en la Península Ibérica.	

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. VIII		**778** Los francos encabezados por Carlomagno son derrotados en Roncesvalles por los vascones.		**782** Carlomagno funda la Schola Palatina.
S. IX		**800** Carlomagno (742-814) es coronado emperador de Occidente en Roma. **882** Se unifica el reino de Rusia con la capital en Kiev.		
S. X		**907** En China finaliza la dinastía Tang. **912** Abd al-Rahman III es proclamado emir de Córdoba. **974** Los reinos hispanos cristianos se unen para luchar contra los árabes. **985** Las tropas de Almanzor saquean y destruyen Barcelona. **999** La población europea es de unos 28,7 millones de habitantes.		**936** Abd al-Rahman III ordena construir la ciudad residencial de Medina Azahara. **954** Se construye en Gerona la abadía románica de Sant Pere de Rodes. **988** Concluye la última ampliación de la gran mezquita de Córdoba.
S. XI	**1004** La escritora japonesa Sei Shonagon finaliza su *Libro de la almohada*. **1014** Muere la escritora japonesa Murasaki Shikibu, autora de *Romance de Genji*. **1027** Ibn Hazm redacta *El collar de la paloma*. **1077** *Meditaciones* de San Anselmo.	**1081** Rodrigo de Vivar (1043-1099), el Cid, es desterrado por Alfonso VI de Castilla.		**1073** Se inicia la construcción de la catedral de Winchester, Inglaterra. **1075** Se inicia la construcción de la catedral de Santiago de Compostela.

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XI		**1094** Rodrigo de Vivar derrota a los almorávides y ocupa Valencia. **1095** Se organiza la primera cruzada para liberar Tierra Santa de los musulmanes.		**1094** Consagración de la iglesia de San Marcos de Venecia.
S. XII	**1100** En torno a esta fecha se compuso el *Cantar de Roldán*. **1140** En esta época se escribe el *Cantar del Mío Cid*. **1154** Florece la obra del trovador Bernart de Ventadorn. **1168** Chrétien de Troyes escribe *El caballero de la carreta*. **1177** Marie de France escribe *lais* en los que aparece la leyenda de *Tristán e Isolda*. **1191** Marmónides (1138-1204) publica *Guía de los perplejos*.	**1143** Portugal se convierte en reino. **1170** El arzobispo Thomas Beckett muere asesinado. **1189** Ricardo Corazón de León (1157-1199) accede al trono de Inglaterra. Tercera Cruzada.	**1150** Universidad de París. **1163** El Edicto de Tours declara ignominiosa la práctica de la cirugía. **1169** El filósofo Averroes compone *El libro general de medicina*.	**1123** Se realizan los frescos de Sant Climent de Taüll (Lleida). **1173** Se inicia la construcción de la torre de Pisa.
S. XIII	**1200** Nace Guillaume de Lorris, autor del *Roman de la Rose*,-1240. **1215** Muere el trovador Bertrand de Born.	**1207** El monje Francisco de Asís renuncia a los bienes terrenales e inicia una vida ermitaña. **1208** Sto. Domingo de Guzmán funda la orden de predicadores. **1209** San Francisco de Asís funda su orden. **1212** Una coalición de reinos cristianos derrota a los almohades en Navas de Tolosa. **1215** Se firma la Carta Magna. **1227** Muere Gengis Kan y el Imperio Mongol se divide entre sus hijos.	**1215** IV Concilio de Letrán. **1220** Universidad de Salamanca.	**1203** Comienzan las obras de la abadía de Mont Saint-Michel. **1221** Se empieza a construir la catedral de Burgos.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. XIII	**1230** Se escribe *Carmina Burana*. **1267** Roger Bacon (1214-1294) publica *Opus maius*. **1268** Muere Gonzalo de Berceo. **1272** Ramon Llull (1235-1315) escribe el *Llibre del gentil e los tres savis*. **1273** Guido Guinizzelli compone *Canzoni*. **1280** Jean de Meun escribe *Le Roman de la Rose*. **1284** Ramón Llull escribe *Blanquerna*.	**1233** Empieza a funcionar la Inquisición en la Corona de Aragón. **1271** Marco Polo inicia su viaje a China. **1276** Fallece el rey Jaime I de Aragón (1208). **1284** Muere Alfonso X el Sabio (1252), impulsor de la cultura y las artes.	**1266-1273** Santo Tomás de Aquino (1225-1274) escribe *Summa Teologica*.	**1238** Comienza la construcción de la Alhambra de Granada. **1296** Giotto (1267-1337) acaba los frescos de la iglesia de San Francisco de Asís.
S. XIV	**1321** Muere Dante Alighieri (1265), autor de la *Divina Comedia*. **1325** Ramón Muntaner (1265-1336) empieza a escribir su *Crónica*. **1330** Francesco Petrarca (1304-1374) empieza su *Canzoniere*. **1348** Giovanni Boccaccio (1313-1375) inicia el *Decamerón*. **1350** Muere el Arcipreste de Hita (1282?), autor del *Libro de buen amor* (1330). **1386** Geoffrey Chaucer empieza a escribir *Los cuentos de Canterbury*.	**1309** El papado se traslada a Avignon. **1337** Empieza la guerra de los Cien Años entre Inglaterra y Francia. **1366** Enrique de Trastámara (1339-1379) es nombrado rey de Castilla. **1378** La elección del antipapa Clemente VII, que se traslada a Avignon, provoca el cisma de Occidente. **1382** Los mongoles saquean Moscú. **1385** Batalla de Aljubarrota.	**1330-1350** Se extiende el pensamiento de Guillermo de Ockham (nominalismo). **1349** Muere el pensador Guillermo de Ockham (1285).	

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XIV		**1391** Matanzas de judíos en Castilla, Cataluña, Andalucía y Baleares. **1398** Nace el Marqués de Santillana (1458).		
S. XV	**1430** *Cancionero de Baena*, recopilado por Juan Alfonso de Baena. **1459** Muere el poeta catalán Ausiás March (1397). **1463** Muere el poeta francés François Villon. **1468** Muere Joan Martorell sin acabar *Tirant lo Blanch*. **1476** El poeta castellano Jorge Manrique (1440-1479) conpone las *Coplas por la muerte de su padre*.	**1410** Muere sin sucesión Martín I el Humano, rey de Aragón. **1412** Fernando de Antequera es elegido nuevo rey de Aragón. **1415** El reformador religioso Jan Hus es quemado en la hoguera. **1431** Juana de Arco es capturada por los ingleses y quemada. **1434** Cosimo de Medici (1389- 1464) toma el poder en Florencia. **1453** Concluye la guerra de los Cien Años. Los otomanos conquistan Constantinopla y ponen fin al Imperio Bizantino. **1455** Se inicia la Guerra de las dos Rosas. **1476** Isabel la Católica, reina de Castilla. **1483** Tomás de Torquemada es nombrado inquisidor de los reinos españoles.	**1445** El impresor alemán Johannes Gutenberg inventa los caracteres metálicos móviles. **1455** Gutenberg imprime la Biblia.	**1401** El escultor Lorenzo Ghiberti realiza la segunda puerta del baptisterio de Florencia. **1421** El escultor Brunelleschi inicia la construcción de la iglesia de San Lorenzo de Florencia. **1434** El pintor flamenco Jan van Eyck finaliza el cuadro de *El matrimonio Arnolfini*. **1478** El pintor italiano Sandro Botticelli finaliza *La primavera*. **1483** Se inaugura la Capilla Sixtina. **1485** Botticelli (1445-1510) pinta *El nacimiento de Venus*.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xv	**1492** Antonio de Nebrija (1444-1522) publica la primera gramática castellana. **1499** Aparece *La Celestina*, atribuida a Fernando de Rojas.	**1492** Los Reyes Católicos conquistan Granada, último reducto árabe en la penísula. Cristóbal Colón descubre América. Los Reyes Católicos expulsan a los judíos de España. **1497** Vasco de Gama llega a la India.	**1486** Pico della Mirandola (1463-1494) publica *Oración por la dignidad del hombre*.	**1498** El grabador alemán Albert Dürer (1471-1528) pinta uno de sus *Autorretratos*. **1499** Leonardo da Vinci (1452-1519) pinta *La última cena*.
S. xvi	**1508** Garci Rodríguez de Montalvo publica *Amadís de Gaula*. **1509** Erasmo de Rotterdam (1466-1536) escribe *Elogio de la locura*. **1513** Nicolás Maquiavelo concluye *El príncipe*. **1516** Primera versión de *Orlando furioso,* de Ludovico Ariosto. **1528** *Retrato de la Lozana Andaluza,* de F. Delicado. **1532** François Rabelais publica *Pantagruel*.	**1517** Martín Lutero pega sus 95 tesis en el castillo de Wittenburg. **1519** Hernán Cortés hace prisionero a Moctezuma II. **1531** Francisco de Pizarro inicia la conquista de Perú. **1532** Las tropas austriacas detienen el avance turco a las puertas de Viena. **1533** Iván IV el Terrible accede al trono ruso.	**1505** El cerrajero alemán Peter Henlein inventa el reloj de bolsillo. **1516** Tomás Moro (1478-1535) publica *Utopía*. **1519** Martín Lutero rompe con la Iglesia Católica. Carlos V accede al trono en Alemania.	**1504** El *David* de Miguel Ángel. **1505** Leonardo da Vinci finaliza *La Gioconda*. **1508** Miguel Ángel (1475-1564) inicia los frescos de la capilla Sixtina. **1513-1514** Alberto Durero en lo mejor de su producción.

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XVI	**1534** Rabelais publica *Gargantúa*. **1543** Se imprimen las obras de Juan Boscán junto a algunas de Garcilaso de la Vega. **1546** Bartolomé de las Casas escribe *Confesionario*. **1554** Se publican las primeras ediciones del *Lazarillo de Tormes*. **1562** Santa Teresa de Jesús (1515-1582) comienza el libro autobiográfico *El libro de la vida*. **1569** Biblia Políglota de Arias Montano. **1572** Fray Luis de León es detenido por la Inquisición. **1580** Aparece la primera edición de los *Ensayos* de Montaigne (1533-1592). **1597** Francis Bacon (1561-1626) publica *Ensayos*.	**1534** Ignacio de Loyola funda la Compañía de Jesús. Enrique VIII se proclama jefe de la Iglesia de Inglaterra. **1545** Se inicia el concilio de Trento, en el que se establecen las bases de la Contrarreforma. **1546** Muere el teólogo protestante Martín Lutero. **1558** Muere Carlos V, rey de España y emperador de Alemania. **1564** Muere el teólogo y reformador francés Juan Calvino. **1567** Santa Teresa y San Juan de la Cruz promueven la reforma Carmelita. **1572** Noche de San Bartolomé (24/8), en la que se asesina a miles de hugonotes en Francia. **1582** Calendario Gregoriano. **1588** La Armada Invencible es destruida por los ingleses.	**1543** Copérnico (1473-1543) publica *De revolutionibus orbium coelestium*. Vesalio publica *Sobre la estructura del cuerpo humano*. **1548** Nace el filósofo italiano Giordano Bruno. **1553** El médico y teólogo Miguel Servet (1511) es quemado en la hoguera por herejía. **1596** Johannes Kepler (1571-1630) publica *Mysterium Cosmographicum*.	**1538** El pintor italiano Tiziano pinta *La Venus de Urbino*. **1541** *El Juicio Final* de Miguel Ángel.
S. XVII	**1600** William Shakespeare (1564-1616) publica *Hamlet*. **1605** Miguel de Cervantes (1547-1616) publica la primera parte del *Quijote*. **1612** Luis de Góngora (1561-1627) publica la *Fábula de Polifemo y Galatea*.	**1607** La Corona española vuelve a estar en bancarrota. **1613** Miguel Romanov (1596-1645) es coronado zar de Rusia. Inicio de la dinastía.	**1600** Giordano Bruno (1548) muere en la hoguera. Gilbert (1544-1603) publica *De Magnete*. **1609** Galileo Galilei (1564-1642) construye el primer telescopio.	**1607** Orfeo de Monteverdi.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xvii	**1616** El 23 de abril mueren Miguel de Cervantes y William Shakespeare. **1619** Lope de Vega (1562-1635) termina *Fuente Ovejuna*. **1626** Francisco de Quevedo (1580-1645) publica *El buscón*.	**1618** Se inicia la guerra de los Treinta Años entre los principales imperios del continente europeo. **1620** Derrota checa en la batalla de la Montaña Blanca, se inicia la germanización de su territorio.	**1618** Kepler formula la primera ley sobre el movimiento de los planetas. **1619** *Harmonia mundi*, de Kepler. **1620** *Novum Organum,* de Francis Bacon (1561-1626). **1628** W. Harvey (1578-1657) publica *Sobre el movimiento del corazón y la sangre en los animales*. **1632** Galileo publica *Diálogo de dos mundos*. **1633** La Inquisición obliga a Galileo a retractarse.	**1624** El escultor italiano Bernini inicia el baldaquín de bronce de la iglesia de San Pedro en Roma. **1632** Empieza a construirse el Taj Mahal (India). **1634** Diego de Velázquez pinta *La rendición de Breda.*
	1635 Calderón de la Barca escribe *La vida es sueño*. **1637** Pierre Corneille estrena su obra *El Cid*.	**1636** Se funda la Universidad de Harward.	**1635** Richelieu funda la Academia Francesa. **1637** René Descartes (1596-1650) publica su *Discurso del método*.	
		1640 Comienza la revolución inglesa, que derivará en una guerra civil dos años más tarde. **1644** Se inicia la dinastía Ching en China. **1648** Finaliza la guerra de los Treinta Años con la Paz de Westfalia. **1649** Carlos I es decapitado e Inglaterra se convierte en una República. **1659** España y Francia firman la Paz de los Pirineos. **1660** Carlos II de Inglaterra restaura la monarquía.	**1640** Fermat (1601-1665) establece su teoría de los números. **1642** El filósofo inglés Thomas Hobbes escribe *Sobre el ciudadano*. **1648** Blaise Pascal (1623-1662) verifica la existencia de presión atmosférica. **1651** El filósofo inglés Thomas Hobbes (1588-1679) publica *Leviatán*.	**1640** Muere el pintor Petrus Paulus Rubens (1577). **1642** El pintor flamenco Rembrandt (1606-1669) finaliza el cuadro *Ronda de noche.* **1656** Diego de Velázquez (1599-1660) finaliza su cuadro *Las Meninas.*
	1664 Molière (1622-1673) representa por primera vez el *Tartufo*. **1667** John Milton (1608-1674) publica el *Paraíso perdido*.		**1670** Pascal (1623-1662) publica *Pensées*. Spinoza (1632-1677) publica el *Tratado Político-teológico*.	

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XVII	**1677** Jean Racine escribe *Fedra*. **1694** Muere Matsuo Basho, uno de los mejores poetas japoneses. **1697** Cuentos de antaño de Perrault (*Caperucita, El gato con botas, Cenicienta*).	**1682** Pedro I, con 10 años, zar de Rusia. **1684** Se forma una alianza para luchar contra los turcos. **1688** Revolución Gloriosa en Inglaterra contra Jacobo II. El trono lo ocupará el protestante Guillermo III de Orange. **1697** Pedro el Grande (1672-1725) es el primer zar ruso en viajar a Europa occidental.	**1677** *Ética,* de Spinoza. Leevwenhoek (1632-1723) descubre los organismos microscópicos. **1678** Huygens (1629-1695) descubre la naturaleza ondulatoria de la luz. **1682** Isaac Newton (1642-1727) formula la ley de la gravitación universal. **1686** Ray (1628-1705) publica *Historia de las plantas*. **1687** Newton publica *Principia mathematica philosophae naturalis*. **1688** El filósofo inglés John Locke (1632-1704) publica *Ensayo sobre la tolerancia*. **1690** Locke publica *Ensayo sobre el entendimiento humano. Tratados sobre el gobierno civil.*	
S. XVIII	**1704** Antoine Galland inicia la traducción al francés de *Las mil y una noches*.	**1700** Muere Carlos II de España sin descendencia, lo que da lugar a la Guerra de Sucesión española. **1704** Ocupación de Gibraltar por los ingleses. **1707** Escocia e Inglaterra se unen políticamente formando la Gran Bretaña. **1713** Se firma la Paz de Utrecht, con la que finaliza la Guerra de Sucesión. Se proclama a Felipe V como nuevo rey de España. Inicia la dinastía borbónica.	**1705** Edmund Halley (1656-1742) publica *A synopsis of the astronomy of comets.*	

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XVIII		**1714** El 11 de septiembre Felipe V toma Barcelona, último bastión contrario a su soberanía.	**1714** El físico alemán Daniel Fahrenheit fabrica el primer termómetro de mercurio.	
		1715 Fallece el rey Sol, Luis XIV de Francia (1638).		
	1719 Se publica *Robinson Crusoe,* del inglés Daniel Defoe.			
	1721 Se publican las *Cartas persas* de Montesquieu.			**1724** Bach presenta *La pasión según San Mateo*.
	1726 Se publica *Los viajes de Gulliver,* de Jonathan Swift.		**1736** Euler (1707-1783) publica *Tratado completo de mecánica*.	
		1740 Federico II el Grande accede al trono de Prusia.	**1740** El filósofo inglés David Hume (1711-1776) publica el *Tratado sobre la naturaleza humana*.	**1741** Haendel presenta *El Mesías*.
			1742 Anders Celsius propone escala de temperatura.	**1748** Se descubren las ruinas romanas de Pompeya.
	1749 Se publica *Tom Jones,* del británico Henry Fielding.		**1749** Buffon (1707-1788) publica *Historia natural*.	
	1751 Se publica el primer volumen de la *Enciclopedia*.	**1755** Terremoto de Lisboa.	**1754** Jean-Jacques Rousseau (1712-1779) empieza a redactar *Del contrato social*. Henry Cort crea un sistema de laminado de hierro.	
	1759 El escritor francés Voltaire publica su obra *Cándido*.	**1756** Se inicia la guerra de los Siete Años, que enfrentó a Prusia y Gran Bretaña contra Austria y Francia.	**1756** Voltaire (1694-1778) publica *Ensayo sobre las costumbres y maneras de las naciones*.	
		1762 Catalina II la Grande accede al trono ruso tras el asesinato de su marido.	**1762** Rousseau acaba de redactar *El contrato social y Emilio*.	
		1766 Motín de Esquilache.	**1764** El ingeniero británico James Watt perfecciona la máquina de vapor. Patenta en 1769.	
	1767 El británico Laurence Sterne publica *Tristram Shandy*.	**1767** Se expulsa a los jesuitas de España y se expropian todos sus bienes.	**1772** Denis Diderot desarrolla el mito del «buen salvaje».	
	1774 Se publica *Los sufrimientos del joven Werther,* de Johann W. Goethe.	**1775** Revolución norteamericana.		

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xviii	**1789** William Blake escribe *Canciones de la inocencia*. **1792** Leandro Fernández de Moratín, *La comedia nueva*. **1798** Samuel Taylor Coleridge y William Wordsworth publican *Baladas líricas*.	**1776** Se firma la Declaración de Independencia norteamericana. **1789** Estalla la Revolución Francesa. **1793** Luis XVI de Francia es ejecutado. **1794** Muere Robespierre guillotinado. **1798** Malthus (1766-1834) publica *Ensayo sobre la población*.	**1776** Adan Smith publica *La riqueza de las naciones*. **1781** El filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) publica *Crítica de la razón pura.* **1783** Primer globo aerostático en Versalles. **1784** Herder (1744-1803) publica *Ideas para la filosofía de la historia de la humanidad*. Primer telar mecánico de Cartwright. **1789** Lavoisier (1743-1794) publica *Tratado elemental de Química*. **1794** Dalton (1766-1844) publica un artículo sobre *Ceguera a colores*. **1795** Sistema métrico universal. **1796** Laplace (1749-1827) publica *Exposición sobre el sistema del mundo*. **1797** El filósofo alemán Friedriche Schelling (1775-1854) escribe *Ideas sobre la filosofía de la naturaleza*.	**1787** Mozart (1756-1791) presenta *Don Giovanni*. **1793** El pintor francés Jacques-Louis David pinta *La muerte de Marat*.
S. xix	**1800** Friedrich von Hardenberg, Novalis, escribe sus *Himnos a la noche*. **1806** Leandro Fernández de Moratín, *El sí de las niñas*. **1810** Madame de Stäel publica *De Alemania*.	**1804** Napoleón Bonaparte es coronado emperador. **1805** Batalla de Trafalgar. Batalla de Austerlitz. **1808** Estalla la Guerra de la Independencia. Constitución de Bayona.	**1807** Hegel (1770-1835) publica *Fenomenología del espíritu*. **1808** Gay-Lussac (1778-1850) define la combinación volumétrica de los gases.	**1804** Francisco de Goya (1746-1828) escandaliza con *La maja desnuda* y *La maja vestida*. **1808** Beethoven (1770-1827) presenta *La Quinta Sinfonía*.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xix			**1809** Lamarck (1744-1829) publica *Filosofía zoológica*. **1811** Avogadro (1776-1856) define el número de moléculas de gases en diferentes volúmenes.	
		1812 Las cortes de Cádiz aprueban una nueva Constitución.		**1812** El británico Joseph Turner pinta *La ventisca*.
	1813 Jane Austen (1775-1817) publica *Orgullo y prejuicio*.	**1813** Bolívar declara la guerra a España.		
		1814 Fernando VII regresa a España y anula la Constitución de Cádiz.		**1814** Francisco de Goya pinta *Los fusilamientos de la Moncloa* y *La lucha con los mamelucos.*
		1815 Batalla de Waterloo. El Congreso de Viena sella la derrota de Napoleón.		
	1816 El alemán E.T.A. Hoffmann publica *Los elixires del diablo*.	**1816** Argentina proclama su independencia.		**1816** Rossini (1792-1868) presenta *El barbero de Sevilla.*
		1817 Chile independiente.	**1817** Ricardo publica *Principio de política económica*.	
	1818 Mary Shelley publica *Frankenstein*.		**1819** Shopenhauer (1788-1860) publica *El mundo como voluntad y representación*.	**1818** El alemán Caspar David Friedrich pinta *El viajero frente al mar de niebla.*
	1820 El escocés Walter Scott publica *Ivanhoe*. **1821** Muere el poeta inglés John Keats, autor de *Oda a una urna griega*.			
	1824 Lord Byron publica *Don Juan* poco antes de morir.	**1823** Finaliza el Trienio Liberal en España y Fernando VII recobra el poder absoluto.	**1823** Champolion descifra la piedra de Rosetta. **1824** Carnot (1796-1832) publica *Reflexions sar la* prissance *motrice du feu.* **1825** Muere el socialista utópico Henri de Saint-Simon.	**1823** Beethoven, *La Novena Sinfonía*. **1824** Muere el pintor Théodore Géricault, autor de *La balsa de la Medusa.*
	1826 Cooper, *El último mohicano*. **1830** Stendhal publica *Rojo y negro*. **1831** Víctor Hugo publica *Nuestra Señora de París*. Stendhal, *El rojo y el negro*.	**1830** Revoluciones liberales en Europa. Bélgica se independiza de Holanda. **1833** Tras la muerte de Fernando VII se inicia la I Guerra Carlista. **1834** La Santa Inquisición desaparece.	**1833** Lyell (1797-1875) publica *Principios de Geología*. **1834** Muere el economista británico Thomas Malthus. **1835** Tocqueville publica *La democracia en América*.	**1831** Eugène Delacroix presenta el cuadro *La libertad guiando al pueblo.*
	1836 Giacomo Leopardi concluye *La retama*.			

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. XIX	**1837** Muere el poeta ruso Alexander Pushkin en un duelo. Hartzenbusch, *Los amantes de Teruel*.	**1839** Empieza la guerra del Opio entre Gran Bretaña y China.	**1837** Samuel Morse pone a punto el primer telégrafo eléctrico.	
	1842 El escritor ruso Nikolái Gógol publica la primera parte de *Almas muertas*.		**1842** Auguste Comte publica el último volumen de su *Curso de filosofía positiva*.	
	1844 José Zorrilla pone en escena *Don Juan Tenorio*.		**1844** Kierkegaard, *El concepto de la angustia.*	
	1847 Brontë publica *Cumbres borrascosas*.			
	1849 Muere el norteamericano Edgar Allan Poe, maestro del género de terror.	**1848** Nuevas revoluciones liberales en toda Europa, que vuelven a fracasar.	**1848** Karl Marx y Friedrich Engels publican el *Manifiesto comunista.* William Thomson —Lord Kelvin— (1824-1907) presenta la escala absoluta de temperatura.	
	1850 Muere el escritor francés Honoré de Balzac, autor de *Eugénie Grandet.*		**1850** Clausius formula el concepto de entropía.	
	1851 Herman Melville publica *Moby Dick.*	**1851** Primer número del *New York Times*. **1853** Se inicia la guerra de Crimea entre turcos y rusos.	**1851** León Foucault demuestra el movimiento de rotación de la tierra mediante un péndulo.	**1851** Verdi, *Rigoletto*. **1852** El maestro de los prerrafaelitas, John E. Millais, pinta el cuadro *Ofelia.*
	1855 El norteamicano Walt Whitman publica *Hojas de hierba.*	**1855** Se inaugura la Exposición Universal de París.	**1856** Louis Pasteur establece los fundamentos de la bacteriología.	
	1857 Charles Baudelaire publica *Las flores del mal*. Floubert, *Madame Bovary.*			**1857** El francés Jean-François Millet realiza *Las espigadoras.*
			1859 Charles Darwin publica *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural.*	**1859** Wagner publica Tristán e Isolda.
	1862 Víctor Hugo publica *Los miserables.*	**1861** Empieza la Guerra de Secesión norteamericana. -1865.		
		1863 Acta de Emancipación: la esclavitud es abolida en EE. UU.	John Stuart Mill publica *Sobre la libertad.*	**1863** Monet, *La merienda campestre.*
	1865 Julio Verne, *De la Tierra a la Luna.*		**1865** Mendel propone la teoría genética de la herencia.	
	1866 Fiódor Dostoievski escribe *Crimen y castigo.* Paul Verlaine publica *Poemas saturnianos.*		**1867** Marx publica *El capital.* Nobel patenta la dinamita.	**1866** Nace Wassili Kandinsky, padre del arte abstracto.

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XIX		**1868** Revolución *gloriosa* española que destrona a Isabel II.	**1868** Se encuentran los restos del Hombre de Cromagnon, antepasado del *Homo Sapiens.*	
	1869 Leo Tolstói concluye *Guerra y paz.* **1870** Muere el escritor británico Charles Dickens, autor de *David Copperfield.*	**1869** Se inaugura el primer ferrocarril que une las costas este y oeste de EE. UU. Se inaugura el canal de Suez en Egipto.		
	1873 Benito Pérez Galdós inicia sus *Episodios nacionales.*	**1871** Italia finaliza su unificación estableciendo Roma como capital. Se proclama el II Reich alemán en Versalles. Se instaura la Comuna de París en la capital francesa.	**1871** Mendeleiev (1834-1907) presenta la tabla periódica de los elementos. **1873** Muere el filósofo británico John Stuart Mill. Maxwell publica *Tratado sobre electricidad y magnetismo*.	**1872** Claude Monet pinta *Impresión, Amanecer.*
		1874 Golpe de Pavía; fin de la I República Española.		**1875** Bizet, *Carmen.*
	1876 Mark Twain publica *Las aventuras de Tom Sawyer.*	**1876** Custer cae en Little Big Horn.	**1876** Alexander Graham Bell inventa el teléfono. **1879** Edison inventa la bombilla.	**1876** Auguste Renoir pinta *Le Moulin de la Galette.*
	1880 Dostoievsky publica *Los hermanos Karamazor*. **1882** El noruego Henrik Ibsen escribe su obra de teatro *Un enemigo del pueblo.*	**1881** Muere Billy el Niño. **1883** Erupción del Krakatoa.	**1881** Se inician las obras del canal de Panamá. **1883** Friedrich Nietzsche escribe *Así habló Zaratustra.*	**1880** El escultor Auguste Rodin finaliza *Puerta del infierno* y *El pensador.*
	1884 Rosalía de Castro, *En las orillas del Sar;* L. Alas Clarín, *La Regenta.* **1885** Émile Zola publica la novela *Germinal.*	**1884** Se inicia la Conferencia de Berlín, en la que las potencias europeas se reparten África.		
	1886 Pérez Galdós, *Fortunata y Jacinta.*	**1886** Primeras botellas de Coca-Cola.	**1886** Nietzsche, *Más alla del bien y el mal.*	**1887** Gustave Eiffel inicia la construcción de la Torre Eiffel de París.
	1891 Óscar Wilde, *El retratro de Dorian Gray.*	**1888** Se inaugura la Exposición Universal de Barcelona.		**1888** Vicent Van Gogh pinta *La habitación de Van Gogh en Arles.*
		1893 Entra en funcionamiento el Transiberiano.	**1893** Henry Ford (1863-1947) finaliza la construcción de su primer coche.	**1893** El noruego Edward Munch pinta *El grito,* antecesor del expresionismo alemán.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. XIX	**1894** Rudyard Kipling publica *El libro de la selva.* **1895** Estreno de *La importancia de llamarse Ernesto,* de Óscar Wilde. **1896** El ruso Anton Chéjov publica *La gaviota.* **1897** Pérez Galdós, *Misericordia.*	**1896** Juegos Olímpicos de la historia moderna. **1898** Estalla el escándalo Dreyfus en Francia. España pierde Cuba, su última colonia en América. **1899** Estalla la guerra de los bóers en Sudáfrica.	**1894** Hertz publica *Principios de Mecánica.* **1895** Durkheim publica *Reglas del método sociológico.* Röngten descubre los rayos X. **1896** Becquerel descubre la radioactividad del Uranio.	**1895** Los hermanos Lumière presentan el cinematógrafo. **1898** Cézanne pinta *Monte Santa Victoria.*
S. XX	**1901** Se conceden por primera vez los premios Nobel. **1902** Joseph Conrad publica *El corazón de las tinieblas.* **1905** Rubén Darío publica *Cantos de vida y esperanza.* **1909** Filippo Tommaso Marinetti publica el *Manifiesto del futurismo* en el diario francés *Le Figaro.*	**1900** Vuelo del primer dirigible de Von Zeppelin. **1903** Primer vuelo de los hermanos Wright. **1905** Finaliza la guerra entre Rusia y Japón. **1906** Terremoto de San Francisco. **1908** Henry Ford produce el primer modelo T. **1909** Sublevación de las tropas destinadas a Marruecos que deriva en los sucesos de la Semana Trágica en Barcelona.	**1900** Sigmund Freud publica *La interpretación de los sueños.* Planck inicia la mecánica cuántica. Husserl publica *Investigaciones lógicas.* **1904** Santiago Ramón y Cajal publica sus investigaciones sobre la composición celular del sistema nervioso. **1905** Einstein publica *La teoría de la relatividad especial.* Weber publica *La ética del protestantismo y el espíritu del capitalismo.*	**1903** Muere el pintor francés Paul Gauguin. **1905** Pintores como Henri Matisse son definidos como «una jaula de fieras» (Fauves) por un crítico de arte. **1907** Pablo Picasso finaliza *Las señoritas de Aviñón,* punto de partida del cubismo.

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xx	**1911** Pío Baroja publica *El árbol de la ciencia.*	**1911** Estalla la Revolución Mexicana, que provoca la caída del dictador Porfirio Díaz. Admudsen alcanza el Polo Sur.	**1911** Marie Curie gana su segundo Nobel por sus estudios sobre el radio y el polonio.	
	1912 Antonio Machado publica *Campos de Castilla.* **1913** Guillaume Apollinaire publica *Alcoholes*. Marcel Proust publica la primera parte de *En busca del tiempo perdido.* Unamuno, *El sentido trágico de la vida.*	**1912** Se hunde el transatlántico *Titanic.*		
	1914 Miguel de Unamuno publica *Niebla.* **1915** Franz Kafka publica *La metamorfosis.*	**1914** Asesinato del archiduque Fernando en Sarajevo. Empieza la I Guerra Mundial.		**1915** Se entrena *El nacimiento de una nación,* de D. W. Griffith.
			1916 El físico alemán Albert Einstein enuncia la teoría de la relatividad generalizada.	**1916** Surge en Zúrich el movimiento varguardista dadá.
	1917 Se publica, en su versión definitiva, *Platero y yo,* de Juan Ramón Jiménez.	**1917** Estalla la Revolución Rusa, que dará lugar, cinco años más tarde, a la Unión Soviética. Muere Buffalo Bill. Mata Hari es fusilada. Apariciones en Fátima. **1918** Gripe española: 20 millones de muertos. **1919** El Tratado de Versalles pone fin a la Gran Guerra.	**1920** El economista John Keynes publica *Las consecuencias económicas de la paz.*	
	1921 Pirandello, *Seis personajes en busca de autor.*	**1921** Independencia de Irlanda.		
	1922 James Joyce publica *Ulises*. T. S. Eliot, *Tierra Baldia.* **1924** Ramón del Valle-Inclán publica la versión definitiva de *Luces de Bohemia.* Thomas Mann, *La montaña mágica.*	**1922** Benito Mussolini toma el poder en Italia. **1923** Pronunciamiento militar de Primo de Rivera en España.	**1922** El filósofo Ludwig Wittgensten publica su *Tractatus logico-philosophicus.*	

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. XX	**1925** Se publica *Manhatan Transfer,* de John Dos Passos.		**1926** Schrödinger desarrolla las ecuaciones de onda de la mecánica cuántica.	**1926** Walter Gropius construye el edificio de la Bauhaus.
		1927 Lindbergh vuela entre Nueva York y París.	**1927** Heidegger *El ser y la nada.*	
	1929 William Faulkner publica *El ruido y la furia.* Hemingway, *Adiós a las armas.*	**1929** *Crack* de la Bolsa de Nueva York. Nacen Popeye y Tintín.		
		1930 Dimite el dictador Primo de Rivera.	**1930** Ortega publica *La revolución de las masas.*	
	1932 Aldous Huxley publica *Un mundo feliz.*	**1931** II República española: 14 de abril.	**1931** Gödel publica su *Teorema de la incompletitud.*	
	1934 Henry Miller publica *Trópico de Cáncer.* G.ª Lorca, *Yerma.* Graves, *Yo, Claudio.*	**1933** Adolf Hitler es nombrado canciller del Reich alemán.	**1934** La persecución nazi obliga a los intelectuales de la escuela de Frankfurt a exiliarse. Popper, *Lógica de la investigación científica.*	
	1935 T. S. Eliot publica *Asesinato en la catedral.*			
		1936 Estalla la Guerra Civil española.	**1936** Keynes publica *Teoría general del empleo* y *Dinero e interés.*	
		1938 Alemania entra en Polonia (1/9).	**1937** Turing publica *Sobre números calculables.*	**1937** Pablo Picasso pinta el *Guernica.*
	1939 John Steinbeck publica *Las uvas de la ira.* Ernst Jünger publica *Sobre los acantilados de mármol.*	**1939** Finaliza la Guerra Civil española con la victoria del dictador Francisco Franco. Estalla la II Guerra Mundial.		
	1940 Se publica de manera póstuma *Poeta en Nueva York,* de Federico García Lorca.	**1941** Estados Unidos entra en la guerra tras el ataque japonés a Pearl Harbor.		
	1942 Albert Camus publica *El extranjero.* Cela, *La familia de Pascual Duarte.*	**1943** Derrota alemana en Stalingrado.	**1943** El filósofo Jean-Paul Sartre publica *El ser y la nada.*	
	1946 Miguel Ángel Asturias publica *El señor presidente.*	**1945** Finaliza la II Guerra Mundial con la derrota nazi. Bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki (6/6 y 9/6).		
		1947 La India logra la independencia de Gran Bretaña.		
	1948 Cela, *Viaje a la Alcarria.*	**1948** Se crea el estado de Israel.		

Fecha	Literatura	Política y Sociedad	Filosofía y Ciencia	Arte
S. xx	**1949** Jorge Luis Borges publica *El Aleph.*	**1949** Nace la República Popular China. Se crea la OTAN.		
	1950 Eugène Ionesco representa *La cantante calva.*	**1950** Comienza la guerra de Corea, primer choque de la Guerra Fría.		**1950** Jackson Pollock pinta *Uno* (n.º 31, 1950).
	1951 Camilo José Cela publica *La colmena.* Margarite Yourcenar, *Memorias de Adriano.*			
	1952 Ernest Hemingway publica *El viejo y el mar.* Samuel Beckett representa *Esperando a Gogot.*		**1953** Watson y Crick descubren la estructura molecular del ADN. Herdegger publica *Introducción a la metafísica.* Wittgenstein, *Investigaciones filosóficas.* **1955** Muere el filósofo español José Ortega y Gasset.	
	1956 Sánchez Ferlosio, *El Jarama.*	**1956** II guerra entre árabes e israelíes.	**1957** Se lanza el Sputnik.	
	1959 Günter Grass publica *El tambor de hojalata*.	**1959** Fidel Castro toma el poder en Cuba. **1960** Varios países africanos logran la independencia.	**1961** El soviético Yuri Gagarin es el primer astronauta en el espacio.	
	1962 Mario Vargas Llosa publica *La ciudad y los perros.*	**1962** Concilio Vaticano II. **1963** El presidente de EE. UU., J. F. Kennedy, es asesinado.	**1962** Thomas Kuhn publica *La estructura de las revoluciones científicas*.	
	1967 Gabriel García Márquez publica *Cien años de soledad.*	**1967** Muere el revolucionario Che Guevara. **1968** Francia vive las insurrecciones de mayo.	**1967** Se realiza el primer trasplante de corazón humano, Barnard. **1969** El hombre llega a la luna. **1972** Meadows publica *Los límites del crecimiento.*	
	1973 Muere Pablo Neruda.	**1973** Golpe de Estado de Augusto Pinochet en Chile. **1975** Muere Franco.		
	1980 Kennedy Toole, *La conjura de los necios.* **1981** Gabriel García Márquez publica *Crónica de una muerte anunciada.*	**1982** Guerra anglo-argentina de las Malvinas.	**1980** Se desarrolla la biotecnología.	

FECHA	LITERATURA	POLÍTICA Y SOCIEDAD	FILOSOFÍA Y CIENCIA	ARTE
S. XX	**1983** Muere Tennessee Williams, autor de *Un tranvía llamado deseo.* **1986** El nigeriano Wole Soyinka se convierte en el primer africano negro en obtener el Nobel de Literatura. **1987** Tom Wolf, *La hoguera de las vanidades.* **1991** Martín Amis publica *La flecha del tiempo.* **1999** Muere Rafael Alberti, último representante de la generación del 27.	**1985** Mijaíl Gorbachov accede al poder de la URSS e inicia un proceso de reformas. **1989** Cae el muro de Berlín, símbolo de la Guerra Fría. **1990** Irak invade Kuwait y provoca el inicio de la Guerra del Golfo. **1991** Se disuelve la Unión Soviética. Estalla el polvorín de los Balcanes, que dará lugar a diversas guerras en la zona a lo largo de la década. **1992** Se celebran los Juegos Olímpicos de Barcelona y la Exposición Universal de Sevilla.	**1994** Muere el filosófo Karl Popper.	**1983** Muere el pintor español Joan Miró. **1987** Muere Andy Warhol, figura del Pop Art. **1989** Muere Salvador Dalí, maestro del surrealismo pictórico.
S. XXI	**2002** Muere Camilo José Cela.	**2001** El 11 de septiembre, tres aviones suicidas derriban las torres gemelas de Nueva York y parte del Pentágono. **2004** Atentados del 11 M en Madrid.		